

防爆防腐电机检修技术问答



□杨万青/编著

FANGBAO FANGFU DIANJI JIANXIU JISHU WENDA



化学工业出版社

图书在版编目（CIP）数据

防爆防腐电机检修技术问答/杨万青编著. —北京：化学工业出版社，2008.4
ISBN 978-7-122-02363-6

Ⅰ.防… Ⅱ.杨… Ⅲ.①防爆电机-检修-问答②防腐电机-检修-问答 Ⅳ.TM357-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2008）第 035427 号

责任编辑：高墨荣 刘 哲　　装帧设计：于 兵
责任校对：吴 静

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011）
印 装：北京市兴顺印刷厂
850mm×1168mm 1/32 印张 9½ 字数 249 千字
2008 年 7 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询：010-64518888（传真：010-64519686） 售后服务：010-64518899
网 址：http://www.cip.com.cn
凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

定 价：23.00 元　

前　言

防爆电动机（简称“电机”）用在易燃、易爆场所，因易燃、易爆场所物质除气体外一般还伴有粉尘及腐蚀性物质，故将防腐电机也纳入书中。

本书主要是围绕检修内容编写的，但为了判定检修质量，将修后的检验工作也加以介绍。因保障电机正常运行是涉及到制造、使用等许多环节的整体工程，因此除检修这一核心内容外，还将选型、安装和维护等相关内容予以扼要阐述。其中电机绕组故障、轴承故障是检修的集中点，故从电气故障、机械故障中提炼出来，各另立一节作专题介绍。

在待修电机中，其情况千差万别：有的仅剩铁芯，有的要提升防护等级，还有的要改电压、改转子结构、改通风散热方式等，检修这样的电机，与重新设计已无多大区别，因此，将有关设计技术也作了简练的介绍。

针对“三包”反馈的质量问题，有些难以察觉、难以治愈，属于隐患性及设计上的问题，均为质量的大敌，故予以重点阐述。为提升检修质量，按照本书操作，除使修后的电机能保证安全运行外，还兼顾了节能、环保的国策。

为了便于读者查阅，本书采用问答形式，并在书末附有几代在役防爆电机技术数据表。

防爆、防腐电机虽然属于特种电机，但其电磁设计、绝缘处理、轴承结构及通风散热等主要部分与普通电机的区别不大，故本书不仅适合防爆、防腐电机的修理，也可供生产、修理普通电机的厂家参考、借鉴。

本书在立题、撰写中蒙首钢赵家礼老师多方指点、赐教，书中部分资料由杨开际翻译，在此一并致以谢意。

由于作者水平所限，书中难免有疏漏之处，敬请读者批评指正。

编者

目　录

第一章　基础知识

第一节　选用、修理电机时遇到的常识性问题

1-1　电机的类别是怎样划分的?

电机的分类见表 1-1。

表 1-1　电机的分类

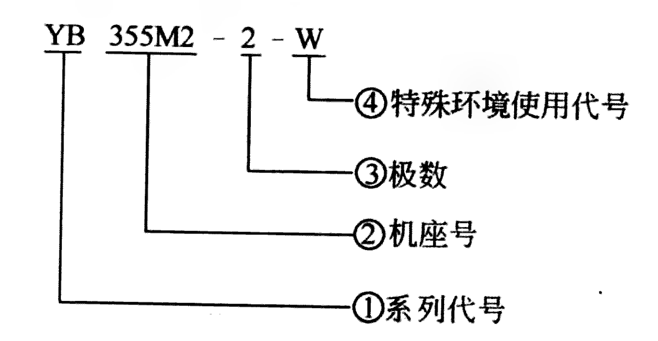
<table>
<tr><th>分类方式</th><th colspan="12">类　别</th></tr>
<tr><td>电源相数</td><td colspan="12">单相、三相</td></tr>
<tr><td>转子绕组形式</td><td colspan="12">笼型、绕线型</td></tr>
<tr><td>定子铁芯外径
D_1/mm</td><td colspan="3">大型
＞1000</td><td colspan="3">中型
＞500～1000</td><td colspan="3">小型
120～500</td><td colspan="3">微型
＜120</td></tr>
<tr><td>防护形式
(代号)</td><td colspan="4">开启式
(IP11)</td><td colspan="4">防护式
(IP22、IP23)</td><td colspan="4">封闭式
(IP44、IP54)</td></tr>
<tr><td>通风冷却方式</td><td colspan="12">自冷式、自扇冷式、他冷式、管道通风式、水冷式</td></tr>
<tr><td>安装方式</td><td colspan="12">卧式、立式、悬臂式</td></tr>
<tr><td>工作定额</td><td colspan="12">连续、断续、间歇</td></tr>
</table>

此外，也有按功率分的，将 1kW 以下的称为小功率电机，也称分马力电机；也有按机座号（中心高）分的，将 80～315 机座号称为小型，355～630 称为中型，大于 630 为大型。因这两种分类方法不准确，随极数、结构不同差别较大，故未列入表 1-1 中。

以上分类是为业内人士在投标、招标及技术交流等方面工作方便，也是电机行业约定俗成的，没有列入正式标准。

1-2 怎样识别国产防爆或防腐电机型号?

电机型号由 3～4 部分构成，如：



① 系列代号，读者可借助 GB 4831—84，按汉语拼音字母自悟，如：

Y—代表“异”步电机；

B—代表隔“爆”，YB 则代表隔爆型异步电机；

A—代表增“安”型防爆，YA 则代表增安型异步电机；

F—代表“通风”、“粉尘”，如 YBF 代表风机用隔爆型异步电机，YFB 代表粉尘防爆电机；

S—代表“水”冷、“输”送机用电机，如 YBS 代表输送机用隔爆型异步电机，YBSS 则代表输送机用水冷隔爆型异步电机。

② 机座号，355 表示电机中心高 H 的毫米值。其后可有 S、M、L，分别表示机座安装尺寸 B 值的短、中、长的三挡尺寸，其后数字 1、2、3 是电机生产厂家对铁芯长度的标识，与安装尺寸无关。

③ 2—代表 2 极。

④ 特殊环境使用代号：

W—表示户外用；

TH—表示湿热带用；

H—表示船用；

F—表示防腐型（防腐型又可细分为 F1、F2、W、WF1、WF2 见第三节）。

1-3 如何估算电机的电流?

三相交流电机的铭牌电流，即额定电流

$$I_N=\frac{P_N\times10^3}{1.73U_N\eta\cos\varphi}(A)$$

式中　P_N——电机额定功率，kW；

U_N——电机额定电压，V；

η——电机效率，样本或技术条件中的标准值；

$\cos\varphi$——电机功率因数。

由于 η、$\cos\varphi$ 在电机的实际运行中很难保持在标准值上，U_N 也在某一范围内波动，所以，按下列公式估算的电流值，对于选用电缆、继电保护装置，以及投标、招标中的技术交流，大修时选用导线，基本上不会有太大的出入或误差。

$U_N=380V$ 时：

$$I_N\approx(1.75\sim2.4)P_N(A)$$

式中，大值用于小功率、极数多的电机；小值用于功率较大、极数少的电机。

如 YB180L-8，11kW 8 极电机，样本 $I_N=25.1A$，按上式，则系数为 2.28，接近 2.4。

即 $I_N=2.28\times11=25.1$（A）。

若是 YB 355L2-2，315kW 2 极电机，

则 $I_N=1.78\times315=560$（A），1.78 接近 1.75。

若估算时将系数选为 1.8，则估算的 $I_N=1.8\times315=567$（A），比样本值 560A 大 7A，高出 1.25%，对于不熟练人员，其估算结果也不会超出±1.5%的范围，此误差可以满足上列经营业务的要求。

$U_N=6kV$ 时，$I_N\approx(0.11\sim0.14)P_N$（A），系数的规律同上。

如 YB450S3-10，200kW 10 极电机（在高压电机中属小功率、多极数），$I_N=0.1415\times200=28.3$（A）；

YKS6303-2，3150kW 2 极电机（在高压电机中属功率较大、少极数），$I_N=0.1123\times315=353.7$（A）。

同理，对于 $U_N=660V$ 时：

$$I_N \approx (1.75\sim2.4)\frac{380}{660}P_N(A)=(1.0\sim1.38)P_N(A)$$

$U_N=10kV$ 时，$I_N \approx (0.11\sim0.14)\frac{6000}{10000}P_N(A)=(0.066\sim 0.084)P_N(A)$，系数变化规律仍同380V。

1-4 过安装系数 K 怎样选？

过安装系数 K＝电机的额定功率/被电机拖动的负荷的功率。

K 与负荷种类、使用现场的状况及电机的制造质量这三个因素有关。电机的买方既不情愿“大马拉小车”带来的投资过高（较大的电机及与之配套的相应设施，如变压器等的容量都要相应地增大）；又担心 K 太小影响正常生产。因此，买方在招标时，常为此而颇费心思。

（1）不同负荷的 K 值可参照表1-2

表1-2 对应不同类型负荷的 K 值

序号	负荷种类	K
1	风机、泵	1.05～1.1
2	粉碎机、压缩机、磨煤机等	1.1～1.15
3	装岩机、输送机等经常过载的负荷	1.15～1.2

注：表中 K 值仅是在一般状况的选用范围下。若负荷比较特殊，比如泵，如果输送液体的黏度随环境温度变化较大，则 K 值也要选得稍大点。

（2）使用现场的状况

若电机的继电保护系统齐备，电机周围的通风状况良好，供电网络电压波动也不大，则 K 值可以小；反之，就要选大点。比如，对于货栈、港口，其网络容量比大型石油化工企业要小得多，电压波动自然要大。若电压降得较多，在电机负荷不变的情况下，电流就要成反比地增大，电机温升势必要高出正常值。K 值也因此选得稍大一点。

（3）制造质量

对于加工工艺比较稳定、产品质量比较高的企业，买方可以选取较小的 K 值；反之，就得大点。

总之，买方选电机 K 值时，必须兼顾各种因素。若上列三个因素均处于不利状况——常过载，电压降较大，生产厂家产品质量一般化，则 K 值也许就得选到 1.25，甚至 1.3。

1-5 电机电压、防护、绝缘等级如何选择？

电机电压、防护、绝缘等级在国内、外均有标准值，不能随意选取。本节的“选”是指从标准值中选取时遇到的问题。

（1）电压等级

近年来由于节能的需要，为了降低电能在线路中的损耗，提升电压等级的趋势比较明显：井下用电机选 3kV 的；石油化工系统及煤矿主井通风用的电机选 10kV 的逐渐多了，功率也越来越小，有的生产厂甚至接到 110～160kW、10kV 的订单。这样小的功率做成 10kV 时制造成本要提高，电磁线的加工也比较困难。

当低压电机的频率为 60Hz 时，其额定电压最好改为 460V，国内的电机生产厂家很容易在 50Hz 的产品上派生。

（2）防护等级

防护等级由 IP 之后加两个数字构成。左数第 1 位数字表示的是防尘的等级，第 2 位数字是防水的等级。有时买方为了购价低，或者是对防护等级不太明白，在本该选用 IP54 电机的场所选了 IP44，甚至 IP23 的电机。比如电站用拖动磨煤机的电机，必须选用 IP54 的。

（3）绝缘等级

一提到绝缘等级，就要牵涉到电机的温升。在实际操作中有两个问题供、需双方要达成共识：

① 温升限度　目前国内生产的高、低压电机，90%以上都是 F 级绝缘。为了提高电机的使用寿命，90%以上生产厂家在样本中都表明“选用 F 级绝缘，温升按 B 级限度考核”。B 级绝缘的允许最高温度是 130℃，F 级是 155℃。考虑 40℃的环境温

度及制造工艺和材料的各5℃共10℃的波动，B级绝缘电机温升的出厂限度定为80K。而按F级绝缘制造的电机，若出厂限度按B级时，温升限度应该是90K（井下电机是95K）。

② H级绝缘　H级绝缘允许温度为180℃。若按H级设计、制造电机，轴承及润滑脂在国内尚未普及。H级绝缘的绕组，对于制造厂并不困难，关键是耐高温的轴承。因此，不在万不得已的情况下（如用在60℃环境温度，或者电机体积被局限的情况下），尽量不要选用H级绝缘的电机。

1-6　电机参数、性能指标的代号及下标的含义是什么？

（1）电机参数、性能指标代号见表1-3。表中的符号已在国际范围内通用。

表1-3　电机参数、性能指标代号

	名　称	代号	单位	单位代号
电机主要参数	功率	P	瓦，千瓦	W，kW
	电压	U	伏，千伏	V，kV
	电流	I	安	A
	频率	f	赫兹	Hz
	转速	n	转/分	r/min
	转矩	T	牛·米	N·m
电机技术指标	效率	η	%	—
	功率因数	$\cos\varphi$	—	—
	堵转转矩/额定转矩	T_{st}	—	—
	最大转矩/额定转矩	T_m	—	—
	堵转电流/额定电流	I_{st}	—	—
	转动惯量	J	牛·米^2	N·m^2

（2）代号的下标

①"N"表示额定值，如U_N表示额定电压。

②"1"、"2"分别代表定子、转子的量值。如：R_1代表定子

电阻，R_2 代表转子电阻。

1-7 选用电机要考虑哪些因素？

选用电机要考虑如下三个主要因素。

① 在电压、频率、转速确定后，按照电机所拖动负荷及供电网络状况，选取过安装系数 K，确定电机功率。由安装方式从电机样本中查出安装尺寸。也有先从已确定的中心高从样本中选择电机功率的情况。

② 确认技术指标是否满足要求（供、需双方在技术协议中敲定）。对于绕线转子电机，为了选用配套的启动、调速系统，还需要供方提供转子电压 U_2 及电流 I_2 的数值。

③ 按照使用环境确定防护等级及防爆类型、防爆等级（见第二节、第三节）或防腐蚀的类别、等级（见第四节），以及其他要求，如户外、船用等。

在选用电机时要注意以下三点。

① 隔爆型电机的隔爆等级符合易燃、易爆环境的要求即可，不要选级别高的（见第二节）。

② 按照实际使用情况确定技术指标。技术指标中 η、$\cos\varphi$ 越高越好，节省电能，其余指标则不尽然。比如拖动轴流式泵和风机的电机，T_{st} 在 0.6～0.8 的范围内即可，T_m 也不必高，1.6 左右就能满足使用要求。若买方在这两项指标上稍许松动一点，设计者可以把从这挖出的过剩功能贴补到 I_{st} 上，即用于降低 I_{st}。这对于网络容量小的使用场所则很有实际意义。

2 极电机的负荷绝大部分是风机和泵，T_{st} 高没必要。若生产厂过于追求这一指标，将铸铝转子槽形的上半部设计得很窄，给制造增加不必要的难度；使用中由断条、细条引发的故障也多。

③ 防护等级要选得适中。IP54 与 IP44 之差主要在防尘功能上。有的买主为了省钱，在该用 IP54 的场所中选用 IP44 的电机，使电机轴承过早地损坏。反之，IP44 能满足使用要求时，无需选 IP54 的。后者要加设橡胶密封圈，维护上不如

前者。

1-8　电机安装方式、安装尺寸代号是怎样规定的？

电机安装方式、安装尺寸代号已在国内、外统一使用。业内人员必须把安装尺寸代号及主要安装方式代号熟练地掌握。

（1）主要安装方式代号（图 1-1）

代号	IMB3	IMB35	IMB5
示意图			
说明	卧式带底脚	卧式带底脚、带法兰	悬臂式，法兰在端盖上
代号	IM7211	IMB10	IMV1
示意图			
说明	卧式带座式轴承	悬臂式，法兰在机座上	立式，法兰在端盖上

图 1-1　主要安装方式代号

代号中“IM”为“国际安装”之意。国内的投、招标中，若彼此明了，“IM”可以不带，直接写 B3、B5……

（2）安装尺寸代号（图 1-2）

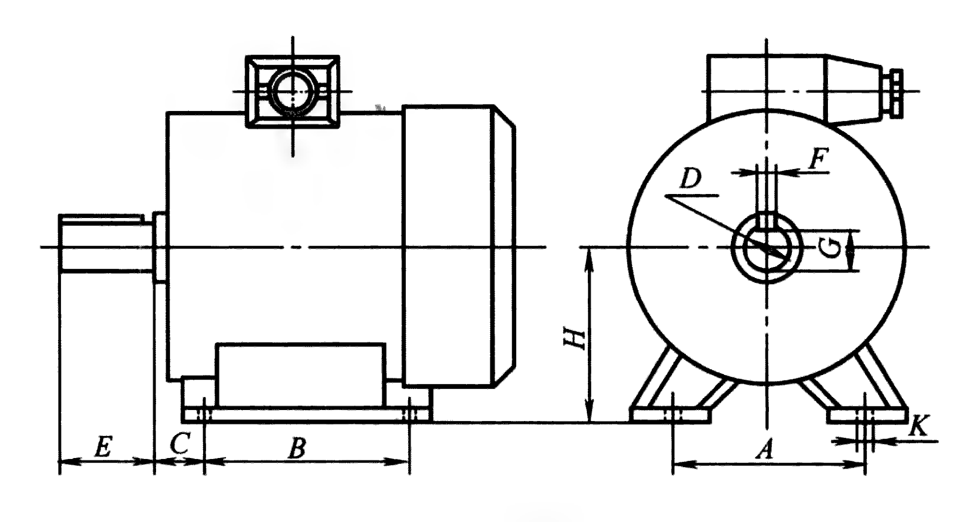


图 1-2（a）　安装方式为 IMB3 的安装尺寸代号

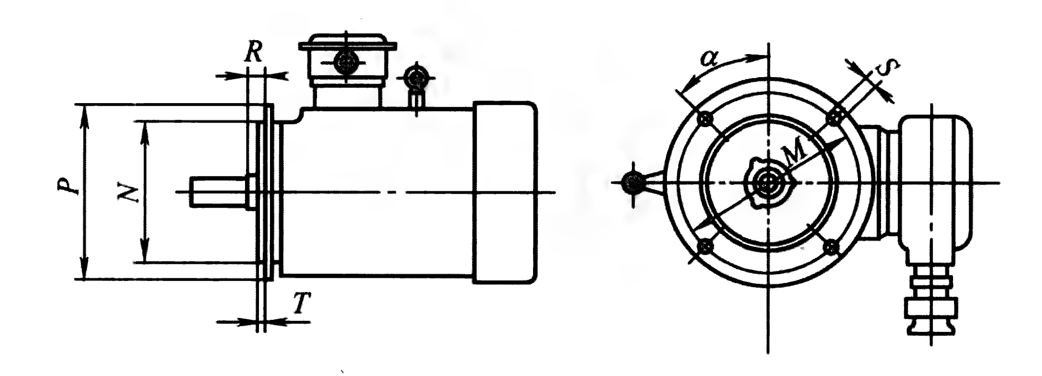


图 1-2（b）　安装方式为 IMB5、B10、B35、V1 的法兰尺寸

（轴伸部分 D、E、F、G 与 IMB3 同）

1-9　电机常用标准有哪些？

常用标准，见表 1-4。

表 1-4　电机常用标准

序号	标　准　名　称	标准号
1	旋转电机　定额和性能	GB 755
2	旋转电机外壳防护分级(IP 代码)	GB/T 4942.1
3	旋转电机冷却方法	GB/T 1993
4	电机结构及安装形式代号	GB/T 997
5	旋转电机　圆柱形轴伸	GB/T 757
6	平键与键槽的剖面尺寸	GB/T 1095
7	三相异步电动机试验方法	GB/T 1032
8	轴中心高为 56mm 及以上电机的振动　振动的测量、评定及限值	GB/T 10068
9	旋转电机噪声测定方法及限值　噪声工程测定方法	GB/T 10069.1
10	旋转电机噪声测定方法及限值　噪声简易测定方法	GB/T 10069.2
11	爆炸性气体环境用电气设备第 1 部分:通用要求	GB 3836.1
12	爆炸性气体环境用电气设备第 2 部分:隔爆型“d”	GB 3836.2
13	爆炸性气体环境用电气设备第 3 部分:增安型“e”	GB 3836.3
14	爆炸性粉尘环境用防爆电气设备　粉尘防爆电气设备	GB 12476.1
15	爆炸性气体环境用电气设备第 13 部分:爆炸性气体环境用电气设备的检修	GB 3836.13
16	户内、户外防腐防爆异步电动机环境技术要求(机座号 45～710)	ZBK 04003

第二节 气体环境中防爆电机的应用场所

1-10 哪些场所需要防爆电机？

在易燃、易爆的气体、蒸气存在的场所，如石油、化工企业、煤矿及储存、输送燃料油等部门需要防爆电机。

1-11 爆炸性场所分级的依据是什么？

在爆炸性气体、蒸气存在的场所，按照其易燃、易爆气体、蒸气出现的频度对使用场所造成的危险程度的不同划分的。

1-12 爆炸性场所分几级，如何定义的？

爆炸性场所按其危险程度分为三个等级，划分的定义见表1-5。

表 1-5 防爆场所按其危险程度划分的区域

区域等级	定　义
0	在正常情况下，爆炸性气体混合物连续地短时频繁地出现或长时间存在的场所
1	在正常情况下，爆炸性气体混合物有可能出现的场所
2	在正常情况下，爆炸性气体混合物不能出现，仅在不正常情况下，偶尔短时出现的场所

1-13 爆炸性物质是怎样定义的？

爆炸性物质，即爆炸性混合物。其定义是：在爆炸上、下限之间的可燃性气体、蒸气、薄雾、粉尘或纤维与空气的混合物。

1-14 爆炸性物质的危险程度怎样识别？

爆炸性物质（气体、蒸气部分）分两类：Ⅰ类（煤矿井下类）及Ⅱ类（除Ⅰ类以外的部分）。其危险程度：

按传爆能力分为4级，ⅡC级气体最易传爆；

表 1-6 爆炸性气体、液体蒸气、薄雾的分类、分级、分组示例表

类和级	引燃温度 T(℃)与组别					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
	$T>450$	$450\geqslant T>300$	$300\geqslant T>200$	$200\geqslant T>135$	$135\geqslant T>100$	$100\geqslant T>85$
Ⅰ	甲烷					
ⅡA	乙烷、丙烷、丙酮、苯乙烯、氯乙烯、氯苯、甲苯、苯、氨、甲醇、一氧化碳、乙酸乙酯、乙酸、丙烯腈	丁烷、乙醇、丙烯、丁醇、乙酸丁酯、乙酸戊酯、乙酸酐	戊烷、乙烷、庚烷、癸烷、辛烷、汽油、硫化氢、环己烷	乙醚、乙醛		亚硝酸乙酯
ⅡB	二甲醚、民用煤气、环丙烷	环氧乙烷、环氧丙烷、丁二烯、乙烯	异戊二烯			
ⅡC	水煤气、氢、焦炉煤气	乙炔			二硫化碳	硝酸乙酯

按引燃温度分为6组，T6组引燃温度最低，见表1-6。即位于ⅡC T6的硝酸乙酯最危险；Ⅰ T1的甲烷则比较“安定”。

1-15 怎样选用防爆电机?

按两个“危险”程度选。

先按场所的危险程度（表1-5），借助表1-7选定适当类型的防爆电机，再按爆炸性物质的危险程度（表1-6）确定电机的防爆等级。

表1-7 每种类型的防爆电机可以应用的区域

区域等级	可以选用的防爆电机
0	特殊型
1	隔爆型、增安型、正压型
2	隔爆型、增安型、正压型、无火花型

注：高压增安型电机不允许用在1区。

若选用隔爆型电机，其隔爆级别满足使用现场的要求即可。在石油、化工企业中，需要等级较高——ⅡB、ⅡC级隔爆电机的场所并不十分多，但从订货上显示，ⅡB级电机的数量不少。若该用ⅡA选了ⅡB，隔爆功能过剩了，没有必要。反之，由于ⅡB电机在轴贯穿处的间隙比ⅡA的小，使用中该处的故障率就要增加。

第三节 粉尘环境中防爆电机的应用场所

1-16 哪些场所需要粉尘防爆电机?

在爆炸性、可燃性粉尘存在的场所需要粉尘防爆电机。

1-17 粉尘有哪些种类?

粉尘按其燃烧的剧烈程度分为：

爆炸性粉尘，如镁、铝、铝青铜等；

可燃性粉尘，如锌、焦炭、铁、煤、小麦、玉米、棉花、砂糖、橡胶、染料、聚乙烯、苯酚树脂等。可燃性粉尘又分为导电粉尘和非导电粉尘，见表1-8（摘自GB 12476.1）。

表 1-8 爆炸性、可燃性粉尘特性表

粉尘种类	粉尘名称	温度组别	高温表面堆积层(5mm)的点燃温度/℃	粉尘云的点燃温度/℃	爆炸下限浓度/(g/m³)	粉尘平均粒径/μm	危险性质
金属	铝(含脂)	T12	230	400	37～50	10～20	爆
	铁	T12	240	400	153～204	100～150	爆、导
	镁	T11	340	470	44～59	5～10	爆
化学	萘	T11	熔融	575	28～38	30～100	可
	苯二(甲)酸	T11	熔融	650	61～83	80～100	可
药品	醋酸钠酯	T11	熔融	520	51～70	5～8	可
	阿司匹林	T11	熔融	405	31～41	60	可
合成树脂	聚乙烯	T11	熔融	410	26～35	30～50	爆
	聚丙烯			430	25～35	—	
	苯乙烯(70%)丁二烯(30%)粉状聚合物			420	27～37	—	可
天然树脂	骨胶(虫胶)		沸腾	475	—	20～50	
	硬质橡胶		沸腾	360	36～49	20～30	
沥青、蜡类	硬蜡		熔融	400	26～36	30～50	
	煤焦油沥青		熔融	580	—	—	

续表

粉尘种类	粉尘名称	温度组别	高温表面堆积层(5mm)的点燃温度/℃	粉尘云的点燃温度/℃	爆炸下限浓度/(g/m³)	粉尘平均粒径/μm	危险性质
农产品	裸麦粉	T11	325	415	67～93	30～50	可
	裸麦谷物粉(未处理)		305	430		30～100	
	裸麦筛落粉(粉碎品)		305	415		30～40	
	小麦粉		炭化	410		20～40	爆
	玉米淀粉		炭化	410		2～30	爆
	马铃薯淀粉		炭化	430		60～80	可
	砂糖粉		熔融	360		20～40	爆
纤维、鱼粉	咖啡粉(精制品)	T11	收缩	600		40～80	
	鱼粉	T11	炭化	485		80～100	
	烟草纤维	T11	290	485		50～100	
	木质纤维	T12	250	445		40～80	
燃料	泥煤粉(堆积)	T12	260	450	—	60～90	可、导
	褐煤粉(生褐煤)	T12	260	—	49～68	2～3	可
	有烟煤粉	T12	235	595	41～57	5～10	可、导
	瓦斯煤粉	T12	225	580	35～48	5～10	可、导
	木炭粉(硬质)	T11	340	595	39～52	1～2	爆、导
	煤焦炭粉	T11	430	>750	37～50	4～5	爆、导

注：“爆”代表爆炸性粉尘；“可”代表可燃性粉尘；“导”代表导电性粉尘。

1-18　粉尘的点燃温度及电气设备允许最高表面温度是怎样划分的？

粉尘的点燃温度及电气设备允许最高表面温度见表 1-9。

表 1-9　粉尘的点燃温度及设备表面允许的最高温度　℃

温度组别	点燃温度 T	电气设备允许最高表面温度	
		无过负荷	有认可的过负荷
T11	$T>270$	215	190
T12	$200<T\leqslant270$	160	145
T13	$150<T\leqslant200$	120	110

1-19　粉尘防爆电机的外壳有几种？

粉尘防爆电机的外壳按其限制粉尘进入电机内腔的能力分为两类：

尘密外壳，外壳防护等级为 IP6×，标志为 DT；

防尘外壳，外壳防护等级为 IP5×，标志为 DP。

1-20　粉尘爆炸危险场所是怎样划分的？

粉尘爆炸危险场所按照爆炸性或可燃性粉尘环境出现的频度和持续时间分为两区，见表 1-10。

表 1-10　粉尘爆炸危险场所的区域划分及定义

区域	定义
10 区	在正常加工、处理或清理过程中，出现或可能出现的粉尘云或粉尘层与空气混合能达到爆炸浓度的区域
11 区	未被划为 10 区的场所，但在异常条件下该场所内出现粉尘云或粉尘层与空气混合后能达到爆炸浓度的区域

1-21　怎样按照粉尘爆炸危险场所选择粉尘防爆的电机？

（1）安装在粉尘爆炸危险场所的电机先按表 1-11 选择防护类型

表 1-11　与不同危险场所对应的粉尘防爆电机的防护类型

粉尘种类		危险场所	
		10 区	11 区
爆炸性粉尘		DT	DT
可燃性粉尘	导电粉尘	DT	DT
	非导电粉尘	DT	DP

（2）再按表 1-12 选择相应的防爆等级

表 1-12　常见的爆炸性粉尘、纤维的分级、分组

类别（粉尘、纤维）	粉尘、纤维性质 ＼ 温度组别	T11	T12	T13
ⅡA	非导电、可燃性纤维	木棉纤维、烟草纤维、纸纤维、亚硫酸盐、纤维素、人造毛短纤维、亚麻	木质纤维	
	非导电、爆炸性粉尘	小麦、玉米、砂糖、橡胶、染料、聚乙烯、苯酚树脂	可可、米、糖	
ⅡB	导电、爆炸性粉尘	镁、铝、铝青铜、锌、钛、焦炭、炭黑	铝（含油）、铁、煤	
	火药、炸药粉尘		黑火药、TNT	硝化棉、吸收药、黑索金、特屈儿、泰安

选用粉尘防爆电机时，要特别注意的两个问题：

① 外壳的防尘等级必须按表 1-11 的规定达到 6 级或 5 级防尘；

② 外壳表面温度要限定在表 1-9 的范围内。

在设计、制造粉尘防爆电机时，其外壳形状应便于清理，不容易积垢；外壳不要存在局部过热的死角。

第四节　腐蚀性环境中电机的应用场所

1-22　哪些环境需要防腐电机？

在腐蚀性环境中用的电机需要做成防腐电机，如用在有氯气、二氧化硫存在的环境中的电机。其中有些物质，如氨、硫化氢，既有腐蚀性又具有易燃易爆的危险性，在这种环境中就需要选用防爆防腐电机。

1-23　腐蚀性物质的严酷程度怎样划分？

化学腐蚀性物质（简称腐蚀性物质）的严酷程度按其浓度或出现的频度共分 3 级，见表 1-13。

表 1-13　化学腐蚀性物质释放严酷度分级

化学腐蚀性物质名称		级别		
		1 级	2 级	3 级
气体及其释放浓度/(mg/m³)	氯气(Cl_2)	＞0.1～0.3	＞0.3～1	＞1～3
	氯化氢(HCl)	＞0.1～0.5	＞0.5～1	＞1～5
	二氧化硫(SO_2)	＞0.1～1	＞1～10	＞10～40
	氮氧化物(折算成)NO_2	＞0.1～1	＞1～10	＞10～20
	硫化氢(H_2S)	＞0.01～0.5	＞0.5～10	＞10～70
	氟化物(折算成 HF)	＞0.003～0.03	＞0.03～0.3	＞0.3～2
	氨气(NH_3)	＞0.3～3	＞3～35	＞35～175
雾	酸雾(硫酸、盐酸、硝酸) 碱雾(氢氧化钠)	—	有时存在	经常存在
液体	硫酸、盐酸、硝酸 氢氧化钠 食盐水、氨水	—	有时滴漏	经常滴漏
粉尘	腐蚀性悬浮粉尘	微量	少量	大量
土壤	pH 值	6.5～8.5	4.5～6.5	4.5～8.5
	有机质/%	＜1	1～1.5	＞1.5
	硝酸根离子/%	＜1×10^{-4}	1×10^{-4}～1×10^{-3}	＞1×10^{-3}
	电阻系数/Ω·m	＞50～100	23～50	＜23

注：化学腐蚀性气体释放浓度是历年最湿月在电气装置安装现场所实测到的平均最高浓度值，实测处距化学腐蚀性气体释放口一般要求在 1m 范围外，不应紧靠释放源。

1-24 腐蚀性环境是怎样界定的?

腐蚀性环境划分的依据见表 1-14 和表 1-15。

表 1-14 腐蚀性环境划分的主要依据

主要依据	类别		
	0 类	1 类	2 类
	轻腐蚀环境	中等腐蚀环境	强腐蚀环境
化学腐蚀性物质的释放状况	一般无泄漏现象，任一种腐蚀性物的释放严酷程度经常为 1 级，有时（如事故或不正常操作时）可能达到 2 级	有泄漏现象，任一种腐蚀性物质的释放严酷程度经常为 2 级，有时（如事故或不正常操作时）可能达到 3 级	泄漏现象较严重，任一种腐蚀性物质的释放严酷程度经常为 3 级，有时（如事故或不正常操作时）偶然超过 3 级
地区最湿月平均最高相对湿度(25℃)①	≥65%	≥75%	≥85%

① 若低于 25℃，应换算到 25℃时的相对湿度。

表 1-15 腐蚀环境划分的参考依据

参考依据	类别		
	0 类	1 类	2 类
	轻腐蚀环境	中等腐蚀环境	强腐蚀环境
操作条件	由于风向关系，有时可闻到化学物质气味	经常能感到化学物质的刺激，但不需配戴防护器具进行正常的工艺操作	对眼睛或外呼吸道有强烈刺激，有时需配戴防护器具才能进行正常的工艺操作
表观现象	建筑物和工艺、电气设施只有一般锈蚀现象，工艺和电气设施只需常规维修；一般树木生长正常	建筑物和工艺、电气设施腐蚀现象明显，工艺和电气设施一般需年度大修；一般树木生长不好	建筑物和工艺、电气设施腐蚀现象严重，设备大修间隔期较短，一般树木成活率低
通风情况	通风条件正常	自然通风良好	通风条件不好

1-25 腐蚀性环境条件有几类?

腐蚀性环境条件有六类：气候条件（代号为 K）、特殊气候条件（Z）、生物条件（B）、化学活性物质条件（C）、机械

活性物质条件（S）及机械条件（M）。其中特殊气候又分热辐射（Zh）、周围空气运动（Za）及降雨以外的水（Zw）三种条件。

1-26　电机防腐蚀类型有几种？

按照环境状况及腐蚀的严酷程度，电机有五种防腐蚀类型，见表 1-16。

表 1-16　五种防腐蚀类型的代号

防腐蚀类型	代号
户外防轻腐蚀型（简称户外型）	W
户外防中等腐蚀型	WF1
户外防强腐蚀型	WF2
户内防中等腐蚀型（简称防中等腐蚀型）	F1
户内防强腐蚀型（简称防强腐蚀型）	F2

1-27　电机的防腐类型怎样与环境条件相匹配？

电机的防腐类型与相应的使用环境条件等级的匹配关系见表 1-17。

表 1-17　各种环境防护类型电机相应的使用环境条件等级

电机的环境防护类型	使用环境条件等级
户外型（W）	4K1①/4Zh1/4Za4/4Zw7/4B1/4C2/4S2②
户外防中等腐蚀型（WF1）	4K1①/4Zh1/4Za4/4Zw7/4B1/4C3/4S3
户外防强腐蚀型（WF2）	4K1①/3Zh1/4Za4/4Zw7/4B1/4C4/4S4
防中等腐蚀型（F1）	3K5L②/3Zh1/3Za5/3Zw9/3B2/3C3/3S3
防强腐蚀型（F2）	3K5L②/3Zh1/3Za5/3Zw9/3B2/3C4/3S4

① 当使用部门提出低温－35℃的要求时（隔爆型电机暂只限－20℃），气候环境条件等级可用 4K2 代替 4K1 在订货时协商确定。

② 代号中英文字母前的“3”表示“有气候防护场所”；“4”表示无气候防护场所；英文字母后的数字表示严酷程度等级，各种使用环境条件等级的应用说明见 JB 4375。

1-28 不同防腐类型电机都适应怎样的环境（气候及化学物质）状况？

不同防腐类型所适应的环境状况见表 1-18 及表 1-19。

表 1-18 气候和生物条件各种等级的环境参数值

环境参数	电机防护类型							
	W		WF1		WF2		F1	F2
1. 气候环境参数①	气候环境条件的等级							
	4K1	4K2	4K1	4K2	4K1	4K2	3K5L	3K5L
a. 低温/℃	−20	−35	−20	−35	−20	−35	−5	−5
b. 高温/℃	40							
c. 高相对湿度/%	100						95	
d. 高绝对湿度/(g/m³)	25②	25	25②	25	25②	25	29	29
e. 气压/kPa	90③							
f. 太阳辐射/(W/m²)	1120						700	
g. 周围空气运动/(m/s)	30						10	
h. 凝露条件	有凝露条件							
i. 降雨强度/(mm/min)	6						—	
j. 结冰和结霜条件	有结冰、结露条件							
2. 特殊气候条件环境参数								
a. 热辐射条件	等级:4Zh1						等级:3Zh1	
	热辐射条件可以忽略，使用环境如需考虑热辐射影响，订货时可协商确定							
b. 周围空气运动	等级:4Za4						等级:3Za5	
	30						10	
c. 降雨以外的水	等级:4Zw7						等级:3Zw9	
	有溅水条件							
3. 生物环境参数	生物环境条件的等级							
	4B1		4B1		4B1		3B2	3B2
a. 植物	霉菌、真菌等条件		不作规定④					
b. 动物	啮齿类动物和其他危害产品的动物条件，白蚁除外							

① 3K5L、4K1、4K2 气候环境参数中对电机未能造成明显使用影响的环境参数未列入。

② 4K1 中的高绝对湿度原为 22g/m³，为扩大电机适用范围，故定为 25g/m³，与 4K2 一致。

③ 相当于海拔 1000m，如超过 1000m，则按 GB 755 规定。

④ 在中等和强腐蚀环境中霉菌对电机的影响不是主要的。

表 1-19　化学活性物质和机械活性物质条件各种等级环境参数值

环　境　参　数		电机防护类型				
		W	WF1	WF2	F1	F2
1. 化学活性物质环境参数①		化学活性物质条件等级				
		4C2	4C3	4C4	3C3	3C4
a. 盐雾		有				
b. 二氧化硫/(mg/m^3)	平均值②	0.3	5.0	13	5.0	13
c. 硫化氢/(mg/m^3)	平均值	0.1	3.0	14	3.0	14
d. 氯气/(mg/m^3)	平均值	0.1	0.3	0.6	0.3	0.6
e. 氯化氢/(mg/m^3)	平均值	0.1	1.0	3.0	1.0	3.0
f. 氟化氢/(mg/m^3)	平均值	0.01	0.05	0.1	0.05	0.1
g. 氨气/(mg/m^3)	平均值	1.0	10	35	10	35
h. 氧化氮③/(mg/m^3)	平均值	0.5	3.0	10	3.0	10
2. 机械活性物质		机械活性物质条件等级				
		4S2	4S3	4S4	3S3	3S4
a. 砂/(mg/m^3)		300	1000	4000	300	3000
b. 尘(飘浮)④/(mg/m^3)		5.0	15	20	0.4	4.0
c. 尘(沉降)④/(mg/m^3)		500	1000	2000	350	1000

① 在环境空气中有一种或一种以上的化学腐蚀气体的浓度值达到表中的数值，即属于该等级。

② 平均值是长期数值的平均值。

③ 相当于二氧化氮的值。

④ 不包括易燃、易爆粉尘。

1-29　怎样选用防腐电机?

选用防腐电机按以下三个步骤：

首先，按表 1-13 对使用场所存在的腐蚀性物质定性，即确认它们是属于哪个等级的，再按表 1-14、表 1-15 确认使用场所的环境是属于哪一类的；

其次，按表1-16弄清电机本身防腐类型的定义；

最后，将按表1-12、表1-13确认的“级”、按表1-14、表1-15确认的“类”及表1-16对电机防腐等级的“定义”按表1-17～表1-19对号入座，即最后选定相应类型的防腐电机。

若按表1-19，在使用环境中含有易燃、易爆物质（如 H_2S、NH_3 等），则需要选用防爆防腐电机。

第五节　防爆、防腐电机的原理及结构特征

1-30　防爆电机是怎样“防爆”的？

在电气部分及外壳上采取不产生火花、高温或者防止易燃、易爆物质进入电机内腔，或者虽然进入电机内腔，爆炸后火焰不能传到电机壳体之外等措施达到防爆要求。

1-31　防爆电机按其防爆原理有几种？

有如下四种。

① 增安型　其防爆原理是：在电机的设计、制造中采取一系列措施，使其在正常运行情况下不会产生火花、电弧及可能引燃爆炸性混合物的高温。

② 隔爆型　其防爆原理简而言之就是“间隙灭焰”。电机外壳做成“隔爆”式的，有足够的强度，当壳内爆炸性混合物（隔爆型电机允许爆炸性混合物进入内腔）爆炸时，壳体不但能承受住爆炸压力及爆炸火焰的高温而不破损变形；又能靠隔爆接合面的“间隙灭焰”作用，防止引起周围爆炸性混合物爆炸。

③ 正压型　正压型防爆电机是将壳内充入保护气体——新鲜空气或惰性气体，其压力保持高于周围爆炸性混合物的压力，以避免外部爆炸性混合物进入壳内达到防爆目的。

④ 无火花型　它是一种在正常运行条件下不产生火花、电弧和危险温度，因而也就不会将周围爆炸性混合物引爆的防爆电机（原理与增安型类似）。

上列四种类型的电机统称为“防爆电机”。

1-32　增安型防爆电机的结构有什么特征？

相对于普通电机，防爆电机的接线盒比较复杂，防爆规程对其规定的条款也比较多。其主体结构与隔爆型的主要差别是无隔爆面要求；外壳强度也无特殊要求。

（1）主体结构

主体结构要采取防止产生火花、电弧及过热的措施。

① 防止产生火花的措施

a. 避免产生机械火花

ⓐ 对装有滚动轴承的电机，定、转间径向单边气隙须大于表 1-20 的规定。

表 1-20　增安型电机的气隙最小值　　mm

极数	径向单边气隙 g 与转子直径 D_2 的关系		
	$D_2 \leqslant 75$	$75 < D_2 \leqslant 750$	$D_2 > 750$
2	0.25	$0.25+(D_2-75)/300$	2.7
4	0.2	$0.2+(D_2-75)/500$	1.7
≥6	0.2	$0.2+(D_2-75)/800$	1.2

若铁芯长 $L>1.75D_2$，则按表 1-20 算得的最小气隙值还要再乘以 $L/(1.75D_2)$。多速电机的 g 值按最少极数的取。

ⓑ 装有滑动轴承的电机，其 g 值按表 1-20 算得后再乘 1.5。

ⓒ 在电机端盖上应设有周向彼此相差 120°的测量 g 值的孔，在静止状态下测三点，验证是否小于表 1-20 的规定值。

ⓓ 转动的零部件与静止的零部件之间应留有足够的间隙、距离，以防止相擦产生火花。

b. 避免产生电火花

ⓐ 裸导线的电气间隙应大于表 1-21。

表 1-21 电气间隙 mm

额定电压/V	最小电气间隙	额定电压/V	最小电气间隙
36	4	660	10
60	6	1140	18
127	6	3000	36
220	6	6000	60
380	8	10000	100

ⓑ 绝缘绕组对地（如绕组端部对机壳、端盖）要有足够的距离。

ⓒ 接线螺栓应有防松措施。

ⓓ 转子铜条与端环应采取硬焊或熔焊；绕组的引接线、连接线应采用熔点较高的焊料焊接，或采用合适的硬焊。

ⓔ 加强绕组匝间、相间及对地的绝缘强度。如采用厚漆膜（低压电机）或玻璃丝包薄膜绕包（高压电机）的导线；槽绝缘适当加强，如高压电机加一层补强槽衬等。

ⓕ 提高绕组绝缘的耐压试验值。低压绕组应比国标对普通电机规定的试验值高 10%；高压绕组应提高 30%。

ⓖ 高压绕组还应按 GB 3836.3 附录 C 规定进行线圈抽样试验。

② 防止产生电弧的措施

a. 常用绝缘材料耐泄痕性分级见表 1-22，裸导体沿绝缘表面的爬电距离应大于表 1-23 的规定值。

表 1-22 常用绝缘材料耐泄痕性分级

绝缘材料耐泄痕性分级	绝 缘 材 料
a	上釉的陶瓷、云母、玻璃
b	三聚腈胺或硅有机石棉耐弧塑料
c	聚四氟乙烯塑料、三聚氰胺玻璃纤维塑料、表面用耐弧漆处理的环氧玻璃布板
d	酚醛塑料、层压制品

表 1-23　爬电距离

额定电压/V	最小爬电距离/mm				额定电压/V	最小爬电距离/mm			
	a	b	c	d		a	b	c	d
36	4	4	4	4	660	12	16	20	25
60	6	6	6	6	1140	21	28	35	45
127	6	7	8	10	3000	45	60	75	90
220	6	8	10	12	6000	85	110	135	160
380	8	10	12	15	10000	125	150	180	240

注：额定电压可高于表列数值的10%。

b. 接线板等绝缘件用泄痕性较好的三聚氰胺石棉耐弧塑料4220压制成。

c. 额定电压≥6kV电机的绕组除加强主绝缘外还涂半导体防电晕漆或在槽部平包1层0.12×25低阻带SDZ-F、端部平包1层0.14×25高阻带SDGP-F。采用VPI工艺的6kV绕组可以不作防电晕处理。

d. 与裸导体接近的金属内表面，如接线盒，涂1321或1320耐弧漆。

e. 铝风扇的含镁量不大于0.5%。

③ 防止过热的措施

a. 温升限度在绝缘等级规定的基础上再降低10℃。

b. 在非正常运行状况下，借助保护装置切断电源。

c. 在正常运行时，若电机突然堵转，其堵转时间t_E应允许大于5s。在此时间内，电机不会产生危险过热；同时在t_E时间内，过热保护继电器动作，切断电源。

t_E时间的定义是：在最高环境温度下，达到额定运行最终稳定温度的交流绕组，从开始通过堵转电流时计起，直至上升到极限温度的时间，参见图1-3。

d. 增安型电机防止过热的另一个考核指标是启动电流比I_A/I_N（I_A—启动电流，I_N—额定电流）。t_E、I_A/I_N均标注在铭牌上，以供选择继电保护用。见图1-4。

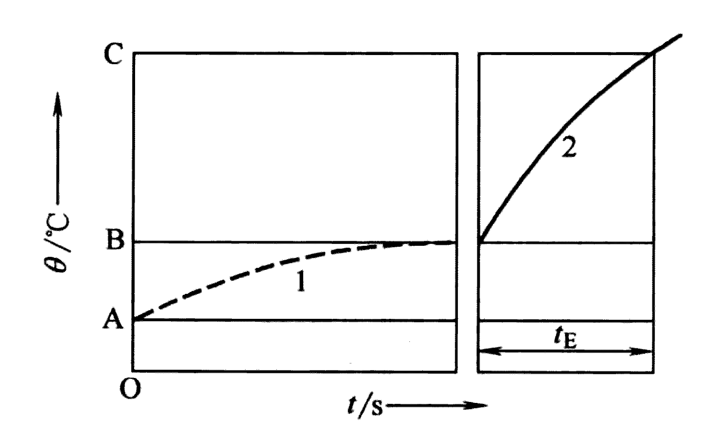


图 1-3　确定 t_E 时间的图例

OA—允许最高环境温度（40℃）；

OB—额定运行时的最终稳定温度；

OC—t_E 终止时允许的极限温度；

曲线 1—额定运行时的温度曲线；

曲线 2—电机堵转时的温度曲线

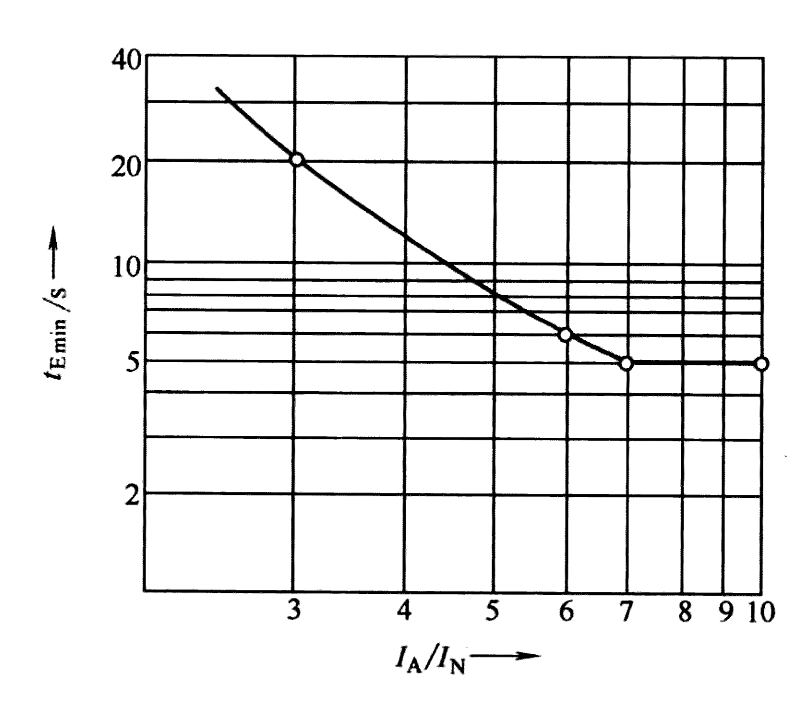


图 1-4　电机 t_E 时间最小值与启动电流比 I_A/I_N 的关系

t_E 时间应不小于转子堵转时热过载保护装置能够切断电机电源所需的时间，若电机 t_E 值大于图 1-4 按 I_A/I_N 比确定的 t_{Emin}值，则可以满足上述要求。否则，则要按较小的 t_E 值重新设置继电保护装置的参数。但 t_E 值不允许小于 5s；I_A/I_N 不允许大于 10。I_A 为电机合闸后 5s 测得的定子电流值。

（2）接线盒

增安型电机接线盒为一独立防爆壳体，它采取以下措施达到防爆要求。

① 防护等级≥IP54。接线盒盖与盒、盒与电机及进线口处的接合面分别用耐油、耐老化的橡胶板、橡胶密封圈密封，见图1-5、图1-6。

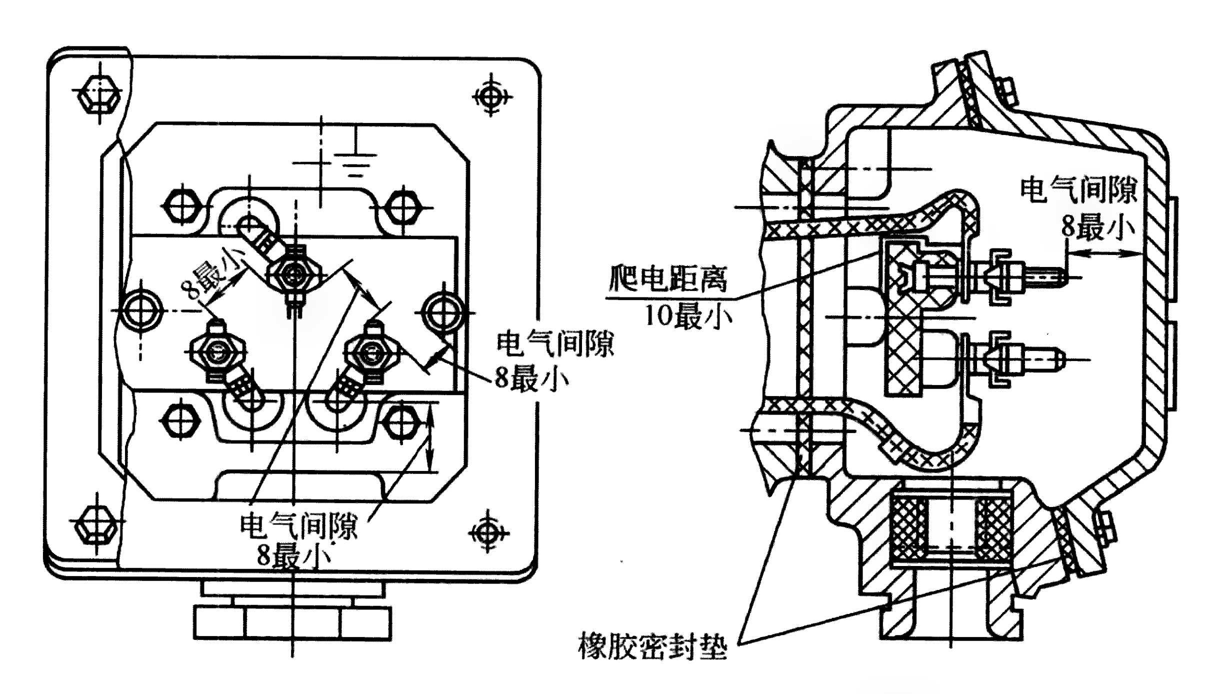


图1-5 YA系列低压380V增安型电机接线盒

② 电气间隙、爬电距离如图1-5、图1-6所示，应大于表1-21、表1-23所列的数值。

③ 电缆引入处应能防止拔脱并可靠地密封。共有如下三种引入装置。

a. 密封圈式引入装置，它适用于引入橡套电缆、铠装电缆及钢管布线。引入的电缆或导线应该用压盘（图1-7）或压紧螺母（图1-8）将橡胶密封圈压紧，并有防松及防止电缆拔脱的措施。进线口处应为喇叭口状，其内缘应平滑。

橡胶密封圈须采用邵氏硬度为45～55的橡胶，并经防爆规程规定的老化试验的合格品。

图中的金属垫片是在电缆未引入时使用，以保持接线盒的密封性。金属垫圈则为增加压紧时的接触面积而在橡胶密封圈的一

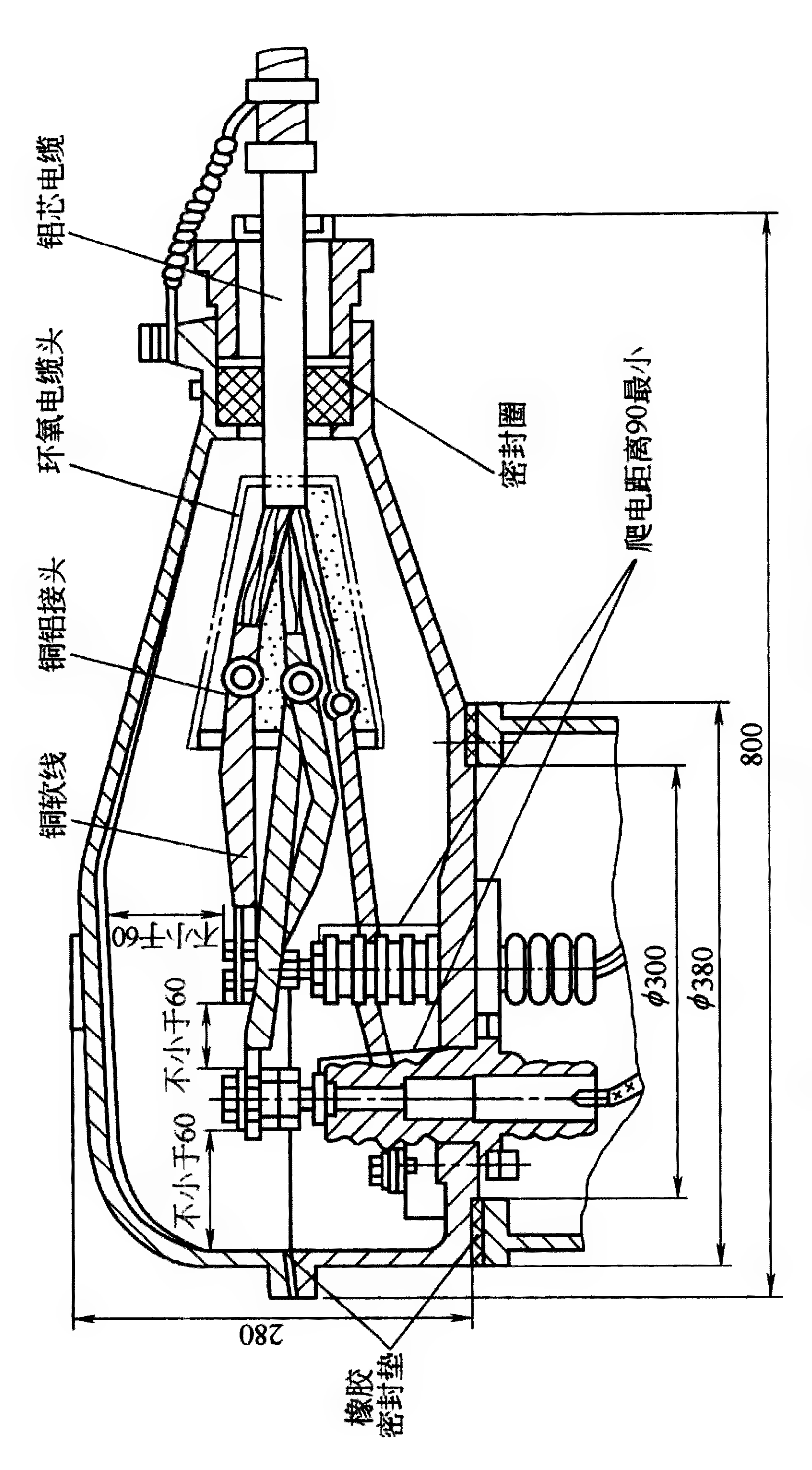


图 1-6 YA 系列高压 6kV 增安型电机接线盒

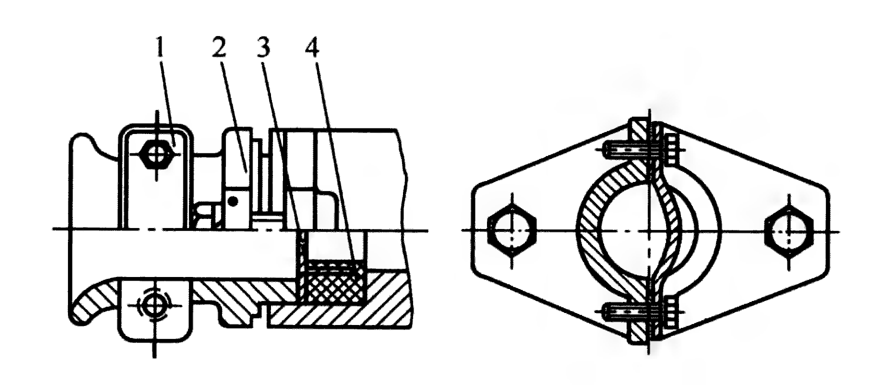
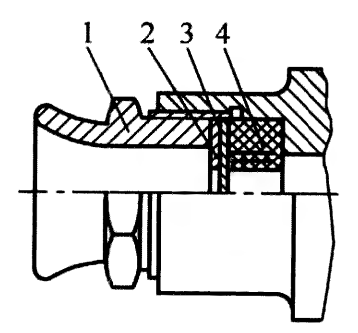
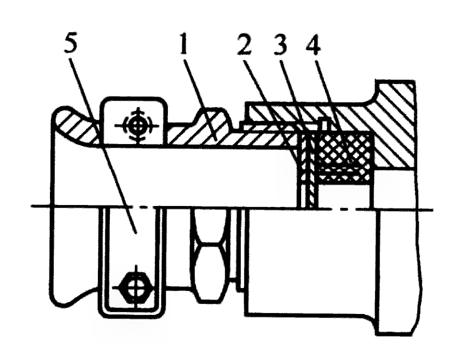


图 1-7　压盘装置

1—防止电缆拔脱的夹板；2—压盘；
3—金属垫片；4—橡胶密封圈







(a) 适用于公称外径不大于20mm的电缆　　(b) 适用于公称外径大于20mm的电缆

图 1-8　压紧螺母装置

1—压紧螺母；2—金属垫圈；3—金属垫片；
4—橡胶密封圈；5—防止电缆拔脱用的夹板

侧或两侧采用。

为与不同外径的电缆匹配，允许在密封圈上切割同心槽。为起到密封防爆的作用，防爆规程对密封圈的尺寸作了规定。见图 1-9、表 1-24。

表 1-24　D_0 与 D_1 的直径差　　mm

D_1	D_0-D_1
$D_1 \leqslant 20$	1.0
$20 < D_1 \leqslant 60$	1.5
$60 < D_1$	2.0

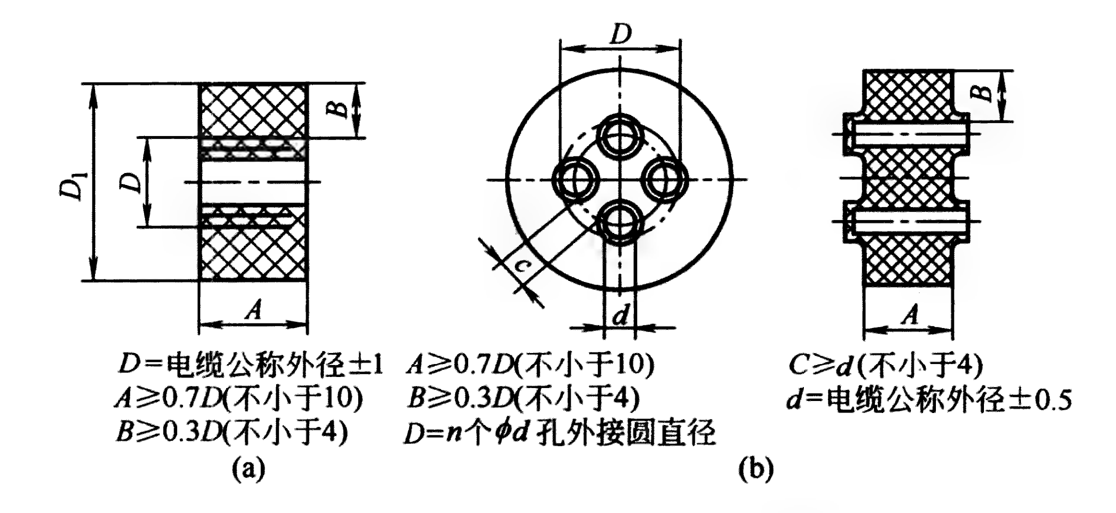


图 1-9 用于不同类型电缆的密封圈

采用钢管布线时，钢管与过渡管接头的啮合扣数应大于 6 扣。

装密封圈处接线盒进线口的内径 D_0 与密封圈外径 D_1 配合的直径差须不大于表 1-24 的规定。

对于浸油式电缆，接线盒内备有放置电缆头的空腔。电缆头可以用环氧树脂浇封，见图 1-10。

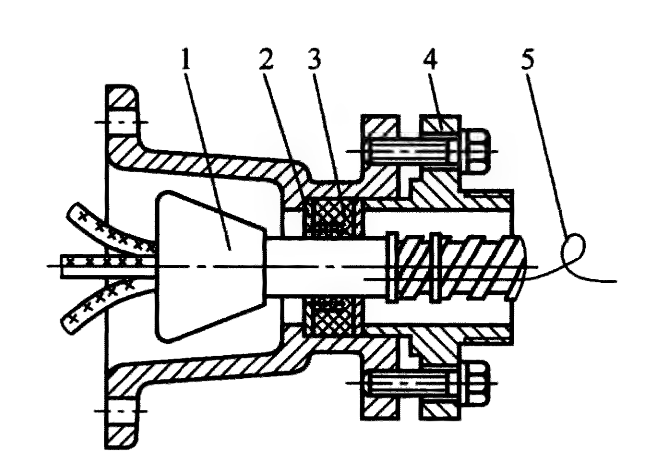


图 1-10 浸油式电缆的电缆头浇封

1—环氧树脂电缆头；2—金属垫圈；3—橡胶密封圈；4—压盘；5—铠装外接地线

b. 浇注固化填料密封式引入装置。用于固化的密封填料应满足下列要求：

ⓐ 具有不燃性或难燃性；

ⓑ 不必加热即可填充；

ⓒ 填充后，在常温下短时间内即可固化；

ⓓ 固化后，不产生有害裂纹，且软化温度不低于 95℃；

ⓔ 对电缆护套不产生不良影响；

ⓕ 浇注的填料深度应大于电缆引入口孔径的 1.5 倍（最小 40mm），并应有表示所需填充量的标记，见图 1-11。

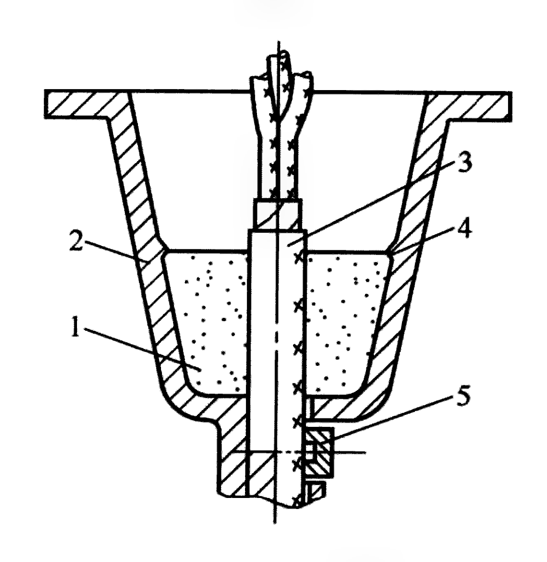


图 1-11 填充深度及填充标记

1—固化密封填料；2—连通器；3—电缆；

4—填充标记；5—防止电缆拔脱用夹板

c. 金属密封环式引入装置。当选用金属护套电缆时选用该种引入装置（本结构也适用于ⅡA、ⅡB 级隔爆型电机），见图 1-12。

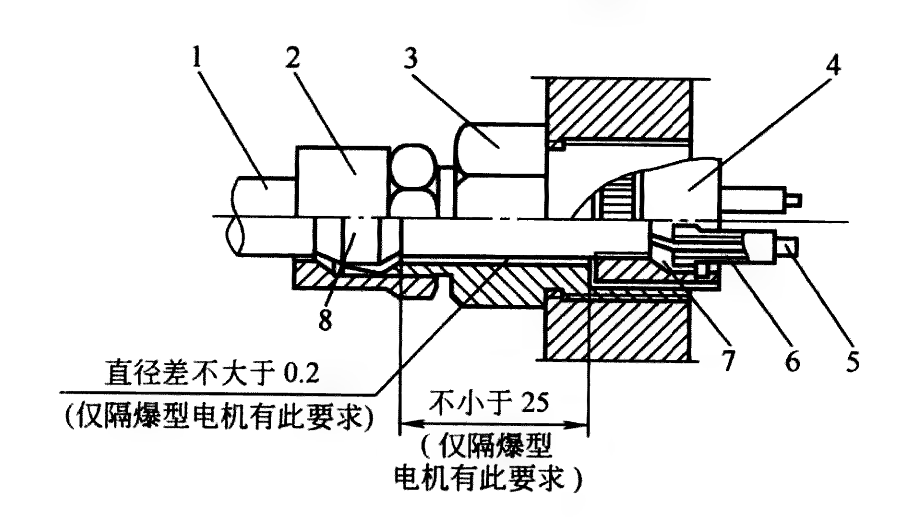


图 1-12 金属密封环式引入装置

1—金属护套电缆；2—螺母；3—套筒；4—端部固定套管；

5—导体；6—绝缘；7—绝缘填料；8—金属密封环

④ 接线盒的内、外接地　接地螺栓应采用铜质或钢质镀锌的。对于内接地螺栓，当电缆小于 35mm² 时，其规格应与接线螺栓相同；大于 35mm² 时，应大于接线螺栓截面的 1/2，但不得小于 35mm² 以下的规格。对于外接地螺栓，当电机功率＞10kW 时，应采用不小于 M12 的螺栓；功率在 5～10kW 时，不小于 M10；再小的电机，应不小于 M8。

1-33　隔爆型电机的结构有什么特征？

与增安型电机的明显差别是：壳体要有足够的强度，壳体上有隔爆面。

其共性部分就是接线盒。

隔爆型电机可以直接选用增安型接线盒。此时电机称“复合型防爆电机”——主体为隔爆型，接线盒为增安型。原隔爆型电机应用的区域（见表 1-7），带增安型接线盒后可照用。只是要注意以下三点：

第一，煤矿井下采区工作面对壳体强度要求较苛刻时，仍要用隔爆型接线盒；

第二，在接线盒与电机主体接合处，仍要达到主体的隔爆型要求；

第三，防爆标记（详见第六节）是复合式的。如原来标记为 ExdⅡBT4 的隔爆型电机，接线盒为增安型成为复合型防爆电机后，其防爆标记应为 ExdeⅡBT4（加一个增安型代号“e”）。

对于既生产隔爆型又生产增安型的厂家，有时就用一套接线盒：外壳接合面上加橡胶密封垫，就是增安型；去掉密封垫，成为隔爆面，就是隔爆型接线盒。

在 Y 系列高压上派生的增安型电机一般不采取上述作法，隔爆型接线盒与增安型比毕竟是耗料多，显得笨拙。

以下仅介绍隔爆型电机的特殊之处——外壳、隔爆面。接线盒，除有壳体强度、隔爆面（与主体上静止部分的隔爆面要求相同，见下述）的要求外，与增安型同，故不赘述。

(1) 外壳（含隔爆型接线盒）材质

① 煤矿井下用电机 在采掘面上使用的隔爆型电机，其外壳应采用钢板或铸钢。若采用稀土球墨铸铁，必须得到防爆检验部门的认可；在其他场所用的隔爆型电机，外壳可用不低于HT250的高强度铸铁。

② 工厂用电机（即表1-6中的ⅡA、ⅡB、ⅡC类） 外壳可采用不低于HT200的灰铸铁。

(2) 外壳紧固螺栓

连接外壳的紧固螺栓除承受必要的锁紧力外，还要承受爆炸压力。考虑这些因素后，每个螺栓的计算拉力Q可按下式计算：

对于平面法兰结构

$$Q=1.3Q_0 \text{ (N)}$$

对于止口结构

$$Q=1.1Q_0 \text{ (N)}$$

$$Q_0=Q_P/Z \text{ (N)}$$

$$Q_P=PA$$

式中 Q_0——每个螺栓的计算应力，N；

Q_P——爆炸时螺栓承受的总压力，N；

Z——螺栓个数；

P——计入爆炸时承受的压应力，MPa，对于ⅡC级取1.5MPa，其余取1.0MPa；

A——承受压力的有效面积，m^2。

外壳紧固螺栓的间距，与外壳件的形状、材质、有无筋均有关系。对于平面结构，ⅡC级一般不大于70～80mm，其他隔爆等级一般不大于120mm。止口结构时，一般不大于140mm。螺栓的个数，对于平面结构，一般不少于4个，止口结构不应少于3个。

外壳紧固螺栓的拧入深度，对于铸铁外壳，最少为1.25～1.5倍螺栓直径；钢板外壳，最少为1.0倍螺栓直径。

外壳紧固螺栓的螺纹余量：螺栓拧紧后还须留有大于2倍防

松垫圈厚度的剩余螺纹，以便垫圈丢失后仍能将外壳紧固。

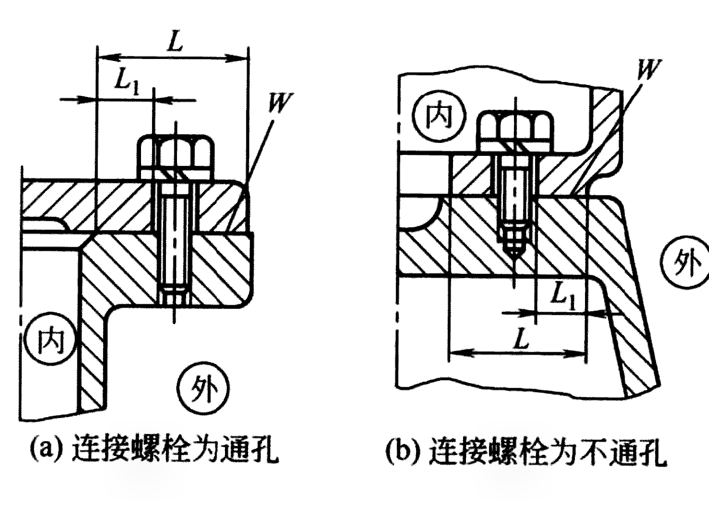
外壳上的不透螺孔，其周围及底部的厚度应大于螺孔直径的1/3，但不得小于3mm。

（3）隔爆面的粗糙度

隔爆接合面表面粗糙度应不低于3.2μm；对于活动接合面，如轴、操纵杆等应不低于1.6μm。即图纸上分别标注的 $\overset{3.2}{\triangledown}$、$\overset{1.6}{\triangledown}$。

（4）隔爆接合面的间隙、长度

隔爆接合面的间隙 W（对于圆筒或止口接合面为直径差）与隔爆面长度 L、L_1（见图1-13～图1-15）、电机内腔净容积 V 及隔爆等级有关。



(a) 连接螺栓为通孔　(b) 连接螺栓为不通孔

图1-13　平面式接合面

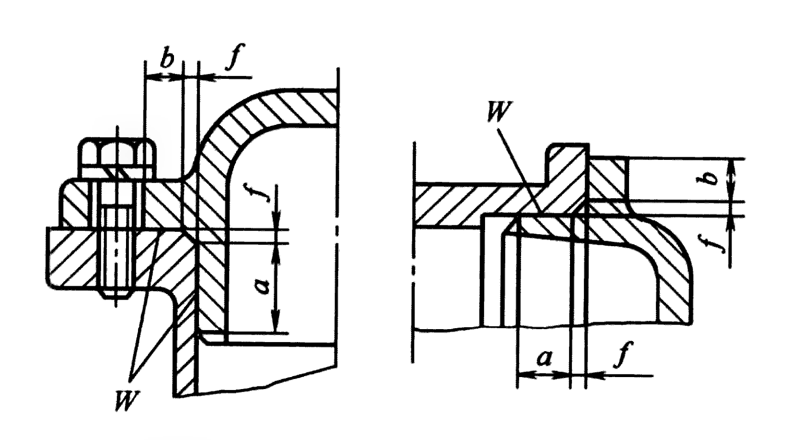


图1-14　止口式接合面（一）

当 $W \leqslant 0.2$mm，$f \leqslant 1$mm 时，$L_1 = a + b$；

当 $W \leqslant 0.2$mm，$f > 1$mm 时，$L_1 = a$

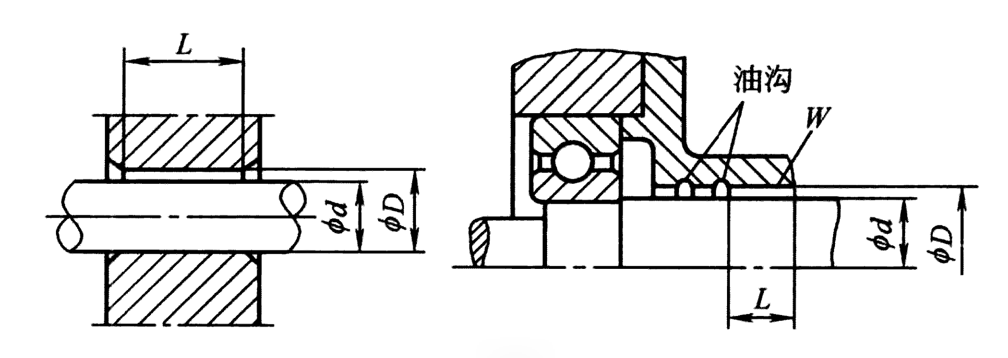


图 1-15 圆筒式接合面

$W=\phi D-\phi d$

如隔爆等级为ⅡA，$0.1L<V\leqslant 2.0L$ 时，当 $L_{min}=12.5mm$，$L_{1min}=8mm$ 时，$W_{max}=0.3mm$；当 $L_{min}=25mm$，$L_{1min}=9mm$ 时，$W_{max}=0.4mm$，即 L 加长时，W 就可以增大；

隔爆等级为ⅡB，$L_{min}=25$ 时，当 $V\leqslant 0.1L$，$W_{max}=0.45mm$；$0.1L<V\leqslant 2.0L$，$W_{max}=0.4mm$；$V>2.0L$，则 $W_{max}=0.3mm$，即 V 增大时，允许的 W 值就要减小；

$L_{min}=25mm$，$V>2.0L$ 时，ⅡA 级 $W_{max}=0.6mm$，ⅡB 级 $W_{max}=0.3mm$，即隔爆等级越高，允许的 W 值越小。

对于隔爆面，平面接合面分布在接线盒及轴承内盖处。由于接线盒的防护等级一般为 IP54，隔爆面的 W、L 也基本上能满足要求；轴承内盖处因为有止口存在，虽然未被计入 L，事实上仍起隔爆作用。其平面接合面，在内腔爆炸时倾向于 W 减少，该处在隔爆安全性上也不会有问题。静止隔爆面的最后一个踞点——机座与端盖的止口配合处，由于电机定、转子同轴度的要求。该处 $W<0.2mm$，即不用防爆规程限定也会合格。仅仅是该处的 L 比普通电机长。

余下的就是轴承内盖与转轴之间轴贯穿处的隔爆接合面。隔爆型电机的故障有相当多的一部分出现在这里。该处的 W 由轴承、轴承内盖、转轴组合后构成。为了安全运行，按电机的大小、隔爆等级的高低，制造厂推出了几种不同结构形式。目前国内隔爆型电机共采用四种结构。

① 普通圆筒式结构，见图 1-15。它是中小型隔爆电机最容易

制造、最流行、占有数量最多的结构。在功率很小时，可用在ⅡC上；功率较大的ⅡB级电机用此结构时，制造时要“精心”。

② 推盖式结构，见图1-16。加工比较难，用在ⅡC级及大功率的ⅡB级隔爆电机上。

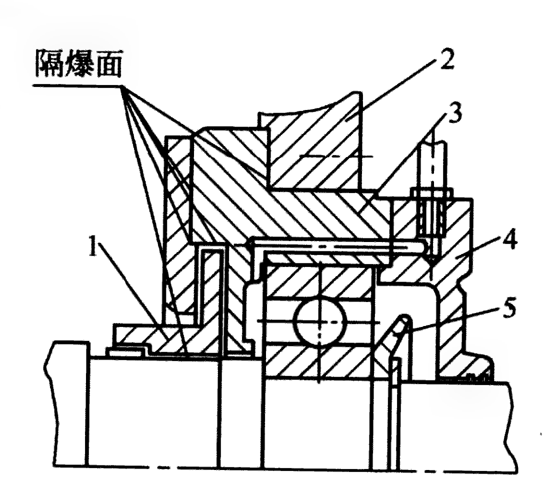


图1-16 推盖式结构

1—推盖；2—端盖；3—轴承套；4—轴承外盖；5—甩油盘

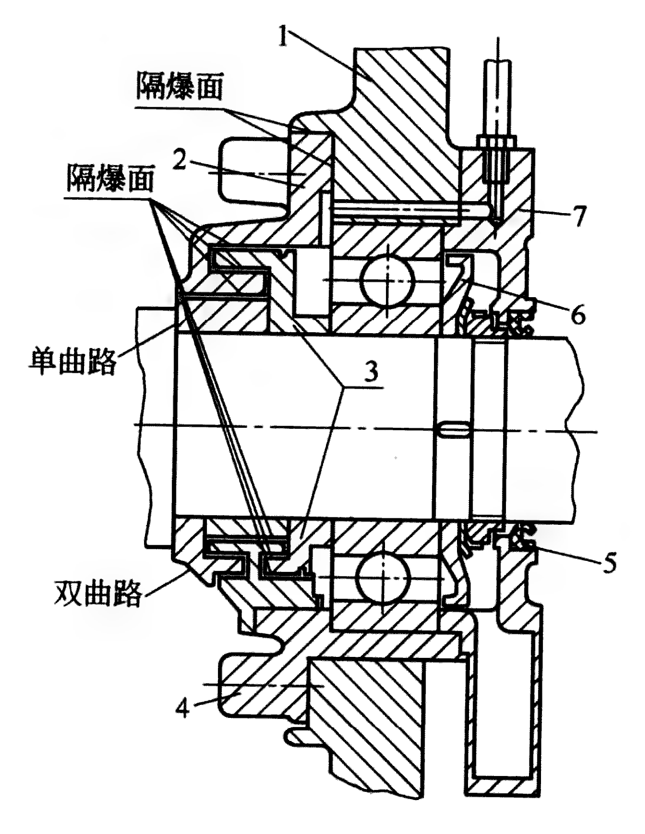


图1-17 曲路式结构

1—端盖；2—内盖；3—曲路环；4—轴承套；
5—橡胶密封圈；6—挡油盘；7—外盖

③ 曲路式结构，见图 1-17。本结构也是用于ⅡC 级及功率较大的ⅡB 级电机上。加工时，对零件的同轴度要求较高。

曲路结构对于乙炔（C_2H_2）的隔爆效果比较明显。

④ 带导轴承的推盖结构，见图 1-18。该结构加工比较难，用于装有滑动轴承的隔爆电机上。

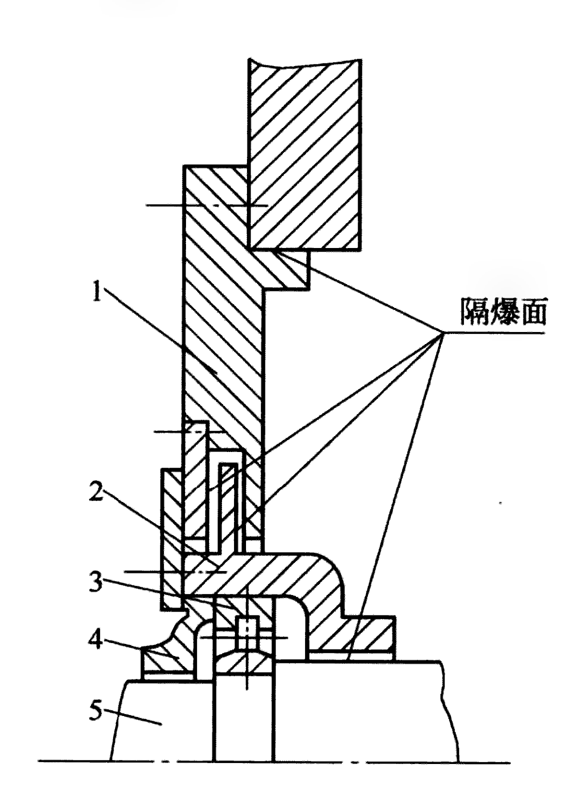


图 1-18　带导轴承的推盖结构

1—端盖；2—推盖；3—导轴承；4—外盖；5—轴

除以上四种结构外，德国还有浮动轴封及叠片式结构。

因轴贯穿处隔爆结构对于隔爆型电机至关重要，故将该处的隔爆结构参数从 GB 3836.2 中摘录见表 1-25。

1-34　正压型防爆电机的结构有什么特征？

正压型防爆电机为减缓电机内腔的压力损失，防护等级一般采用 IP54。其接线盒及电缆引入方式、结构与增安型电机相同。其设计、制造要点是：借助继电保护系统使电机内腔维持正压；内腔不存在通风的“死角”。

（1）保持内腔正压

表 1-25 轴贯穿处隔爆面 L、W mm

隔爆等级	轴承	L	W		
			$V \leqslant 100\text{cm}^3$	$100\text{cm}^3 < V \leqslant 2000\text{cm}^3$	$V > 2000\text{cm}^3$
Ⅰ	滑动	$12.5 \leqslant L < 25$	0.4	0.4	0.4
		$25 \leqslant L < 40$	0.5	0.5	0.5
		$40 \leqslant L$	0.6	0.6	0.6
	滚动	$12.5 \leqslant L < 25$	0.6	0.6	0.6
		$25 \leqslant L < 40$	0.75	0.75	0.75
		$40 \leqslant L$	0.75	0.75	0.75
ⅡA	滑动	$12.5 \leqslant L < 25$	0.35	0.3	0.2
		$25 \leqslant L < 40$	0.4	0.4	0.4
		$40 \leqslant L$	0.5	0.5	0.5
	滚动	$12.5 \leqslant L < 25$	0.5	0.45	0.3
		$25 \leqslant L < 40$	0.6	0.6	0.6
		$40 \leqslant L$	0.75	0.75	0.75
ⅡB	滑动	$12.5 \leqslant L < 25$	0.25	0.2	0.15
		$25 \leqslant L < 40$	0.3	0.25	0.2
		$40 \leqslant L$	0.4	0.3	0.25
	滚动	$12.5 \leqslant L < 25$	0.4	0.3	0.2
		$25 \leqslant L < 40$	0.45	0.4	0.3
		$40 \leqslant L$	0.6	0.45	0.4
ⅡC	滚动	$12.5 \leqslant L < 25$	0.25	0.25	—
		$25 \leqslant L < 40$	0.25	0.25	0.25
		$40 \leqslant L$	0.3	0.3	0.3

注：1. L、W 见图 1-15，W 为允许的最大值。
2. V 为电机内腔净容积，cm^3。

在进、出风管道处及壳体的上、中、下有关部位安放微压计。当微压计读数低于 200Pa 时，通过继电保护系统，使电机停止运行；或者使通风或充气系统提高充入壳内气体的压力。

（2）消灭通风“死角”

在电机开始运行之前，壳内先通以5倍于电机内腔净容积的新鲜空气或惰性气体，以将内腔中的爆炸性气体混合物全部吹拂出去。因此，壳内不允许存在“死角”。

顾名思义，“死角”就是在通风过程中吹拂不到的角落。在设计时，按照空气动力学原理，应设法消除这样的角落。

正压型防爆电机在国内石油化工企业中使用的较少，并且几乎全是国外进口的。

1-35 无火花型防爆电机的结构有什么特征?

在接线盒、电缆引入方式及结构，以及防护等级的要求与增安型电机的要求相同，但无 t_E 及降低10℃温升的要求，其余防爆要求与增安型类似，其安全程度比增安型略低，因此仅能用在2区。

无火花型电机在国内起步较晚，目前尚未批量投入市场。英国GEC公司成系列生产无火花型防爆电机已有多年的历史。

1-36 粉尘防爆电机的结构有什么特征?

粉尘防爆电机虽未被GB 3836防爆规程列入上述类型之中，但随着化纤、农产品、药品、燃料、食品乃至部分金属的深加工，特别是这些行业在生产中出现过因粉尘而产生爆炸事故，遂引起了国家安全部门的重视，并为此专门编制了国家标准——《爆炸粉尘环境用防爆电气设备 粉尘防爆电气设备》(GB 12476.1—1990)。该类电机的产量也由此而逐年增加。

(1) 防爆原理

粉尘防爆电机是在结构上采取措施限制粉尘进入壳内，同时，将电机外壳表面温度限定在一个安全的限度内，达到防爆要求。

(2) 结构特征

① 外壳分类 外壳分两类：防尘外壳、尘密外壳（分别用DP、DT标注，见1-19)。

② 对外壳的一般要求

a. 外壳应制成尽量避免静电荷聚集和粉尘堆积的结构，同时要便于清理；

b. 外壳材质可以采用金属或含镁量不大于0.5%的轻合金制成；

c. 外壳应有足够的强度、刚度，除保证正常安装、运行外，还应保证不致因各种因素（如温度变化）引起的变形而破坏外壳的防尘性能。

③ 限制粉尘进入外壳的措施

a. 外壳壳体与可拆卸零部件之间的接合面可以是平面式、止口式、密封式、螺纹式、圆筒式或几种方式的组合。

b. 用螺栓紧固时，其数量应能保证整个接合面的紧密配合。

c. 密封垫须采用石棉、橡胶或其他耐久的优质材料，并应适合电机的负荷状况和正常的工作温度。易于变硬或易于发黏的材料不宜作密封材料。

d. 接合面应有防锈措施。如电镀、磷化、涂204-1防锈油等。接合面不准涂油漆。

e. 对于尘密外壳的静止接合面，可采用以下三种方式之一：

ⓐ 平面式接合面，见图1-13。其L、L_1应符合表1-26的规定。

表1-26 L、L_1最小值 mm

L最小值	15
L_1最小值	5

ⓑ 止口式接合面，见图1-14。止口式接合面的径向平面接合部分应紧密配合。接合面的最小有效长度L和接合面边缘至螺孔边缘的最小有效长度L_1应符合表1-26的规定。若圆筒配合面部分的直径差小于0.075mm时，可将其配合长度的1/2作为接合面（见图1-19），但止口接合面长度仍应符合表1-26。若直径差大于0.075mm，则不按接合面计。

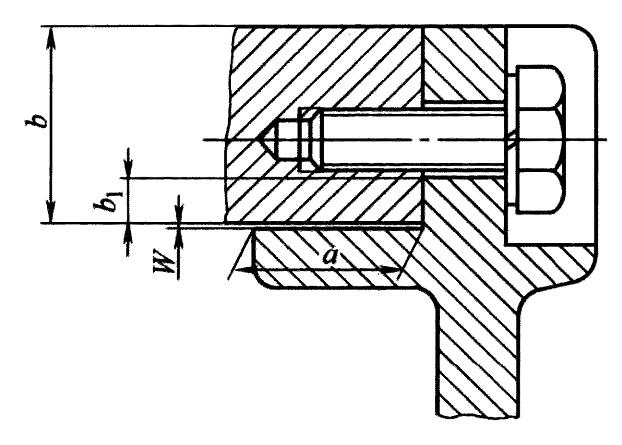


图 1-19 止口式接合面（二）

直径差 $W \leqslant 0.075$mm

$$L=\frac{a}{2}+b;\ L_1=\frac{a}{2}+b_1$$

ⓒ 密封式接合面，密封式接合面允许充分压紧。在安装或拆卸接合部位时，密封垫不得损伤、脱离。平垫密封时，L、L_1（见图 1-13）应符合表 1-27 的规定。

表 1-27 L、L_1 最小值 mm

接合面周长①	<300	300～500	>500
L 最小值	5	8	10
L_1 最小值	3	3	3

① 周长按接合面中心线计算。

f. 对于尘密外壳的轴贯穿处的活动接合面，可采用密封式接合面，见图 1-20、图 1-21。

为保证防尘性能，电机铭牌上应标明密封件的更换时间。此外，还应采用防尘性能好的轴承，并设法使轴承润滑脂兼起密封作用（如设置油沟）。

g. 对于尘密式外壳的螺纹式接合面，螺纹的拧入深度应大于 5 倍的螺距，并需采取防松措施。同时，还可以加密封垫，以提高防尘性能。当外壳与外壳、外壳与钢管之间的螺纹接合为两端固定不能松脱时，可以不采取防松措施。

h. 防尘型外壳的静止接合面，仍采用与 e 项类似的三种方式，但要求略松。

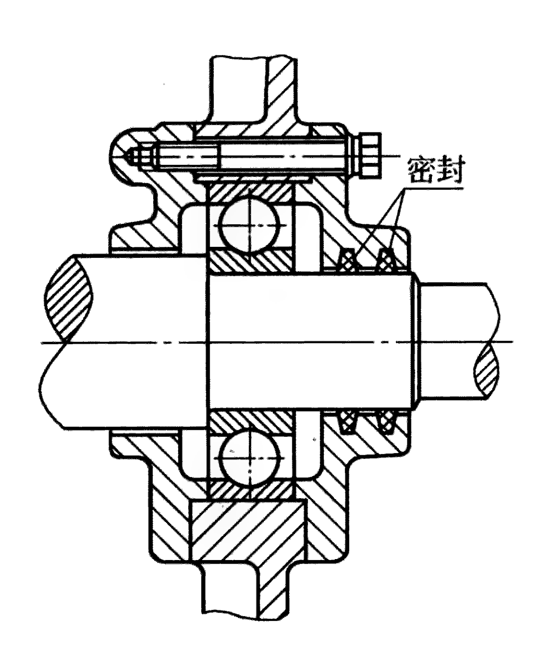


图 1-20 密封式接合面（一）

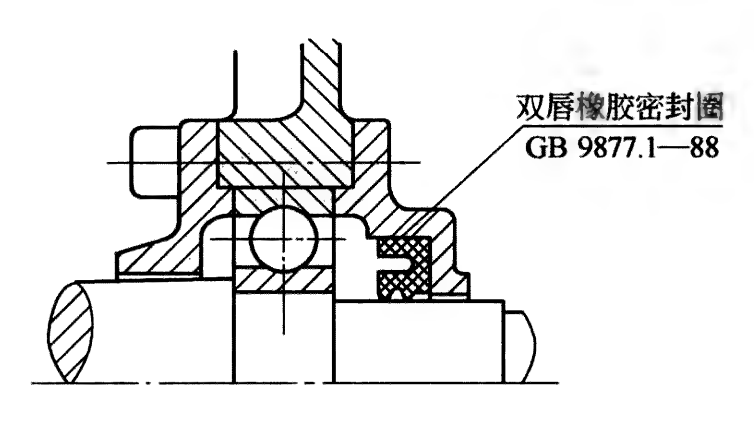


图 1-21 密封式接合面（二）

ⓐ 平面式接合面，对 L、L_1 的规定按表 1-28。

表 1-28 防尘型外壳的 L、L_1 mm

L 最小值	6
L_1 最小值	3

ⓑ 止口式接合面，与 e 项中ⓑ类似，但 L、L_1 可按表 1-28 的规定。同样，若圆筒部分直径差小于 0.075mm 时，可将配合长度的 1/2 计入接合面（见图 1-19）。止口接合面的长度也按表 1-28 的规定。若直径差大于 0.075mm，也不按结合面计。

ⓒ 密封式接合面，采用平垫密封时，L 应大于 5mm，L_1 应

大于 3mm。L、L_1 的定义同上，见图 1-13。

i. 对于防尘外壳轴贯穿处的活动接合面，可采用下列两种形式之一。

ⓐ 曲路式接合面，接合面的最小有效长度 L 和最大直径差 W 应符合表 1-29 的规定。L、W 见图 1-22。

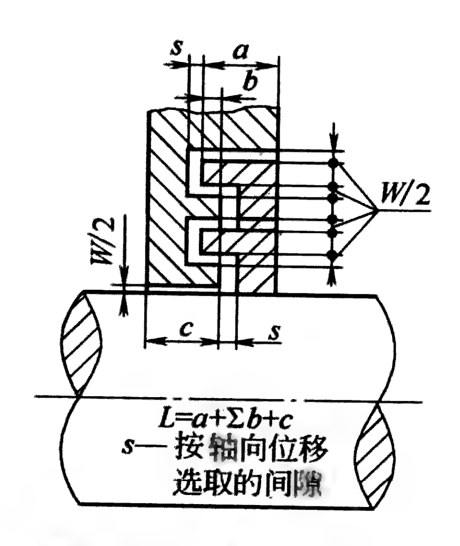


图 1-22　曲路式接合面

表 1-29　曲路接合面的 L、W　mm

L 最小值	12.5	25	45
W 最大值	0.25	0.4	0.5

为提高防尘性能，可在曲路内侧加一辅助挡板，见图 1-23。

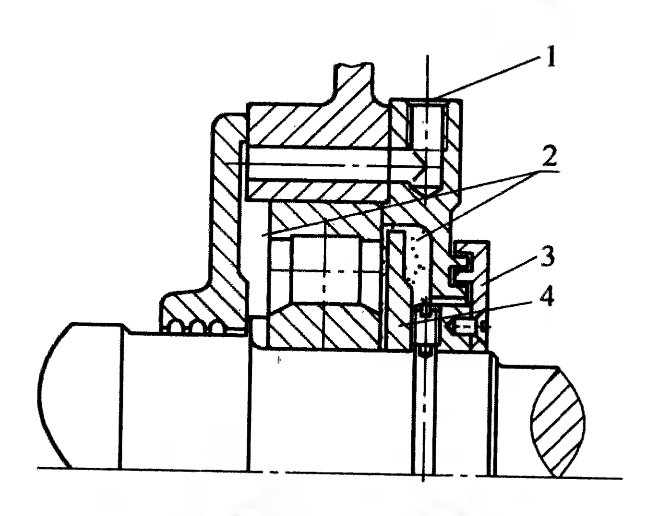


图 1-23　加辅助挡板的曲路式接合面

1—注油孔；2—润滑脂；3—曲路；4—挡板

ⓑ 密封式接合面，其规定与尘密外壳相同，见 f 项。

j. 防尘外壳的螺纹接合面，其规定也与尘密外壳相同，见 g 项。

k. 紧固件。

ⓐ 紧固件应有防松措施，如加弹簧垫圈；

ⓑ 若结构上有特殊要求，可设 1～2 个护圈式（或沉孔式）特殊紧固件，见图 1-24。特殊紧固件应符合下列要求。

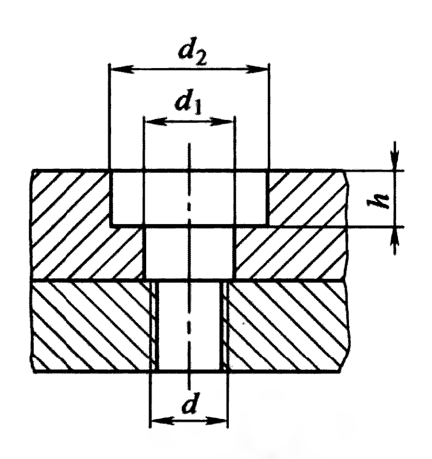


图 1-24 护圈尺寸

• 螺栓头或螺母设在圈内，只有用专用工具才能打开；

• 护圈直径 d_2、高度 h 和螺栓孔直径 d_1 的尺寸应以螺栓头或螺母能沉入，即 h 应大于螺栓头或螺母的高，且能用专用套板拆装，d_2 应大于套板外径为度。以 M8～M16 为例，推荐的尺寸见表 1-30。

表 1-30 推荐的护圈尺寸 mm

螺纹规格	d_1	h	d_2					
			适用于六角头		适用于小六角头		适用于内六角头	
			最大	最小	最大	最小	最大	最小
M8	9	8	25	22	20	18	16	15
M10	11	10	30	27	25	22	20	18
M12	14	12	35	31	30	27	22	20
M16	18	16	44	40	40	36	28	26

• 护圈可设有开口，开口所对应的圆心角应小于120°。

ⓒ 紧固件材质应为不锈钢。若用普通钢，应经过电镀或采取防锈处理。

l. 接线盒及电缆或导线引入。

对接线盒及电缆或导线引入的规定与增安型电机基本相同。只是当电机主体为6级防尘时，接线盒也按6级防尘制造。

以上是粉尘防爆电机限制粉尘进入外壳的措施。该电机外壳共有两种防尘等级——防尘外壳（5级）及尘密外壳（6级）。其中条款a～d及k、l是两种等级的通用要求；e～g是针对尘密外壳采取的措施；h～j是针对防尘外壳的。

与隔爆电机类似，防尘的关键部位也在轴贯穿处。不同的是：前者着眼于轴承内盖，后者的关键部位则在轴承外盖上。

④ 外壳表面温度的限定 限定表面温度及防止粉尘进入壳内是粉尘防爆电机制造中的两个关键环节。不同状况下对表面温度的限定见表1-9。

1-37 防腐（含防爆防腐）电机有什么特征及特殊要求？

（1）防腐电机是通过选材及涂覆处理达到防腐要求。防爆防腐电机则在此基础上加上防爆措施。

（2）防腐电机的防腐措施见表1-31。

表1-31 防腐电机的防腐措施

部 位	电机防腐类型		
	W	F1、WF1	F2、WF2
机壳	1. 环氧铁红底漆＋过氯乙烯底漆＋过氯乙烯面漆，共4次 2. 聚氯酯改性氯醋底、面漆，共3次	表面漆＝底漆＋面漆（各1层） 1. 聚氨酯底、面漆 2. 环氧铁红底漆、聚氨酯面漆 3. 聚氨酯改性氯醋底、面漆 4. 环氧铁红1层＋过氯乙烯底、面漆各3层	方案同左，但涂漆层数增加1次，即：两层底漆＋两层面漆

续表

部　位	电机防腐类型		
	W	F1、WF1	F2、WF2
端盖与机座的密封	端盖止口配合处涂半干性密封胶或锂基润滑脂		
轴承	采用甩水环，但小机座号也可采用曲路环加橡胶甩水环	同W	同W，但F2采用曲路环
接线盒	防护等级不低于IP55；密封胶圈与接线盒座、盖均用聚氨酯胶黏合		
外风扇	铝合金风扇表面涂漆	F1采用塑料或铝合金风扇（表面涂漆或环氧粉末）；WF1同左	同F1、WF1
风扇罩	1. 钢板件采用环氧粉末硫化床涂覆，WF2再加1层氯醋或过氯乙烯漆 2. 采用钢板涂环氧粉末及塑料风窗的复合结构 3. W亦可采用钢板涂漆（同机壳）		
铭牌	铜质镀镍铬	同W	1. 同W，之后环氧粉末涂覆 2. 采用不锈钢OCr18-Ni12Mo2Ti
紧固螺栓	钢质镀镍	同W，之后表面渗脂处理	采用不锈钢OCr18-Ni12Mo2Ti
铁芯等内圆	1. 涂磷化底漆，环氧铁红+1504环氧气干漆 2. 涂其他环氧铁红两次		
接线板	1. 高树脂含量胶木粉压制 2. 酚醛玻璃纤维压塑料 3. 玻璃纤维增强聚碳酯		
绕组绝缘	绝缘结构DMD+M；聚酯漆包线，3240或软槽楔，浸1032漆两次（低压电机）或采用VPI（见第二章）		
润滑脂	1. －25℃ 3号锂基脂；2. －40℃，200-Ⅰ型高低温润滑脂（上海树脂厂产）		
轴伸	特殊要求时，采用不锈钢烧焊		
密封橡胶、电机引出线	丁腈或氯丁橡胶；丁基或丁腈橡胶引出线		

注：表中所列诸项措施仍在不断完善之中。

（3）为防腐电机用在户外，且容易受到太阳辐射的影响时，其铁芯、绕组温升限值及外壳允许的最高表面温度应在相应类型电机的规定值上按表1-32的值相应地降低。

表 1-32　受太阳辐射影响的防腐电机其温升及外壳允许最高表面温度的降低值

封闭结构自扇冷电机		光滑表面的自冷式电机	
铁芯、绕组/K	外壳表面/℃	铁芯、绕组/K	外壳表面/℃
5	10	15	20

第六节　国产防爆、防腐电机的特征及其检修时与普通电机的异同

1-38　目前在役的国产防爆电机有几种？其型号、特征是什么？

目前在役的国产防爆电机的种类、型号、特征见表 1-33。

表 1-33　目前国产在役防爆电机

序号	型号	电压	绝缘等级	防护等级	防爆等级	生产年代	注
1	BJO2	220V、380V、660V	E	IP44	KB、B2d、B3d/AC	20 世纪 60 年代末至 80 年代初	隔爆型 增安型　在 JO2 上派生，安装尺寸与 JO2 相同
2	AJO2						
3	YB		F	IP44、IP54	Ⅰ、ⅡA、ⅡB、ⅡC/eⅡT2、eⅡT3	20 世纪 80 年代至目前	隔爆型 增安型　在 Y 系列上派生，安装尺寸与 Y 相同
4	YA						
5	YB2		F	IP44、IP54	Ⅰ、ⅡA、ⅡB、ⅡC/eⅡT2、eⅡT3	20 世纪 90 年代末至目前	隔爆型 增安型　在 Y2 系列上派生，安装尺寸与 Y、Y2 均相同
6	YA2						
7	JB	6kV	B	IP44、IP54	KB、B2d、B3d	20 世纪 70 年代至目前	隔爆型　后期防爆等级为Ⅰ、ⅡA、ⅡB
8	YB	6kV 10kV	F	IP44、IP54	Ⅰ、ⅡA ⅡB、ⅡC/eⅡT2、eⅡT3	20 世纪 80 年代至目前	隔爆型 增安型　YB、YA 安装尺寸相同
9	YA						
10	JBR	380V 660V 1140V	B	IP44	KB、B2d、B3d	20 世纪 60 年代初至 80 年代初	绕线转子隔爆型
11	YBR		F	IP44、IP54	Ⅰ、ⅡA、ⅡB	20 世纪 80 年代初至目前	绕线转子隔爆型

上列产品的技术数据见附录A1～A9。

YFB为在YB上派生的粉尘防爆电机；YB-F为在YB上派生的防爆防腐电机。

YFB、YB-F的安装尺寸均与YB相同（也与Y、Y2相同），可以批量订货，但产量远较YB少。YFB在防护及外壳温度上有特殊要求；YB-F在涂覆及材质上有特殊要求。除此之外，在电磁设计、电气参数、机械结构及通风散热上与YB基本相同。

1-39 新、老防爆规程在防爆类型、温度组别、隔爆级别的代号上有何区别?

区别见表1-34。

表1-34 新、老防爆规程防爆类型、温度组别、隔爆级别代号的对应关系

新、老规程标准号	防爆类型代号			温度组别						隔爆级别			
	增安型	隔爆型	正压型										
GB 3836—2000	e	d	P	T1	T2	T3	T4	T5	T6	Ⅰ	ⅡA	ⅡB	ⅡC
GB 1336—1977	A	B	F	a	b	c	d	e	—	KB	B2	B3	B4

1-40 防爆电机的防爆标记、防爆标志怎样构成的?

防爆电机的标记为“Ex”，标在铭牌的右上角及外壳的明显处。

防爆标志在Ex之后由从左至右依次标明防爆类型、类别、级别、温度组别的代号构成。

如一台隔爆型、Ⅱ类（工厂用的防爆电机均属Ⅱ类）、隔爆等级为B级、用在T4组爆炸性混合物中的电机。其防爆标志为ExdⅡBT4（也可将Ⅱ、B合在一起——ⅡB称为级别）。

对于无级别要求的防爆类型，如增安型，其标志则无级别代号。如一台增安型、Ⅱ类、用于T3组的电机，其防爆标志为ExeⅡT3。

对于粉尘防爆电机，则在Ex之后加粉尘防爆代号DIP、外壳类别（DT或DP）及温度组别。如一台粉尘防爆、采用DT

型尘密外壳、点燃温度为 T13 组的电机，其防爆标志为 ExDIP-DTT13。

若一台电机带有与主体防爆类型不同的部件，则称为“复合型”防爆结构。其标注方法是：在 Ex 之后先注主体防爆类型，其后是部件的防爆类型，然后依次是类别、级别、组别。如一台隔爆型、带有增安型接线盒、Ⅱ类、B 级、用在 T3 组的电机，其防爆标志为 ExdeⅡBT3。

1-41　防爆电机在检修时与普通电机有何异同？

防爆电机在检修时，其电磁部分与普通电机基本相同。不同之处是外壳及接线盒，见 GB 3836.13—1997《爆炸性气体环境用电气设备第 13 部分：爆炸性气体环境用电气设备的检修》。

接线盒部分主要是更换老化的密封件。对于隔爆型电机，主要是修复破损的隔爆面及清除隔爆面的锈斑，采取防锈措施。对于增安型电机，除更换老化的密封件外，绕组的绝缘强度要认真复查，其完好程度不应低于制造厂出厂时的状态。

粉尘防爆电机侧重于外壳的密封状况，若不是完好如初，应更换密封件或采取其他的修复措施。

1-42　防腐电机在检修时与普通电机有何异同？

防腐电机则着眼于涂覆上。若腐蚀严重，应更换部分零部件。

第七节　影响电机质量的隐患

1-43　何谓电机“隐患”？

在设计、制造中不容易被察觉，对质量、性能有很大影响的因素，本书称之为“隐患”。

1-44　举例说明电机隐患对性能、质量的影响？

比如在电磁设计时选择绕组节距。

为改善磁场波形，采用双层短节距绕组时，其短距比 β=短

节距跨的槽数/整节距跨的槽数。采用三相制时，原本较强的三次谐波基本上自行消灭了。因此，目标集中在削弱5次、7次谐波上。特别是5次谐波，因振幅较大，对磁场畸变的推波助澜作用也较大，它应列为设计者首选的削弱目标。为达到这一目的，应使$\beta=4/5$，如图1-25所示：此时5次谐波的两“+”两“-”刚好抵消。若因槽配合的局限，$\beta\neq4/5$时，选用接近4/5，如$\beta=5/6$也较理想。

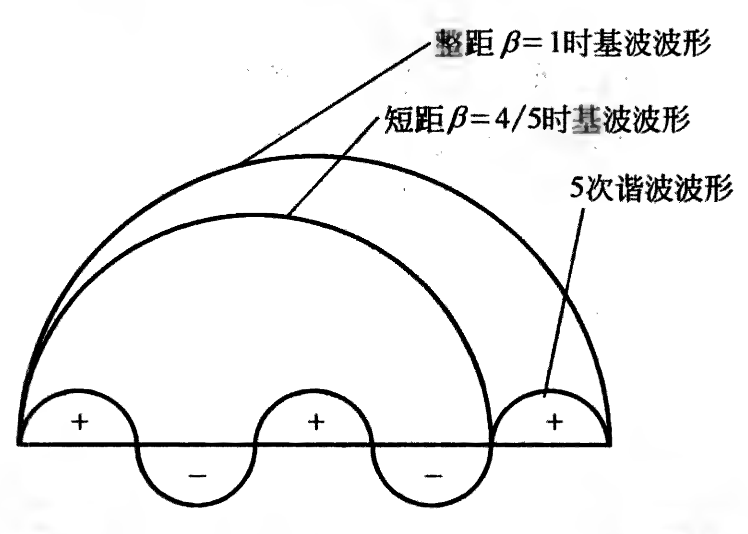


图1-25　短距$\beta=4/5$时削弱5次谐波示意图

当β增大时，可使磁通降低，换来的是提高了$\cos\varphi$。因为这一原因，在原山西化肥厂用的Y225-4，45kW的电机，定子48槽，因选了$\beta=11/12$，远离了4/5、5/6，磁场中5次谐波较强，磁场波形畸变较大，电机的转矩-转差（T-s）曲线出现了明显的凹陷，见图1-26。合闸后，因最小转矩T_{min}过低而不能投入正常运行。将β改为10/12后，电机投入了正常运行。

再举一因加工时埋下的隐患而遗留的质量问题——焊接机座的时效处理。

若焊成后时效不到位或不做时效处理，在工期短，零部件加工工序间衔接紧凑时，机座在金工加工后的变形显示不出来，或极不明显，检查不出来。因为焊接应力要有个较长的时间才能逐渐地释放出来，按国内中、大型电机焊接机座的形状、大小，至少要半年以上时间。待电机运行时，焊接应力逐渐释放出来后，机座就要变形。若两个止口同轴度超差较多，带来的危害是：由

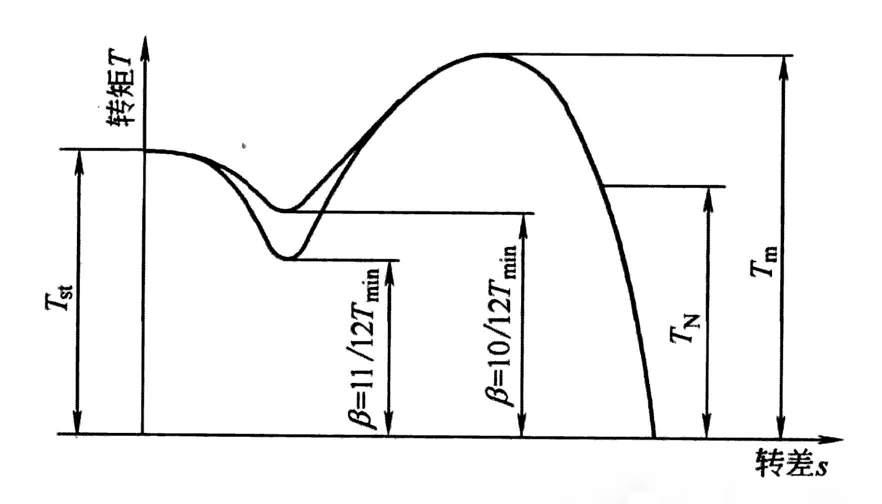


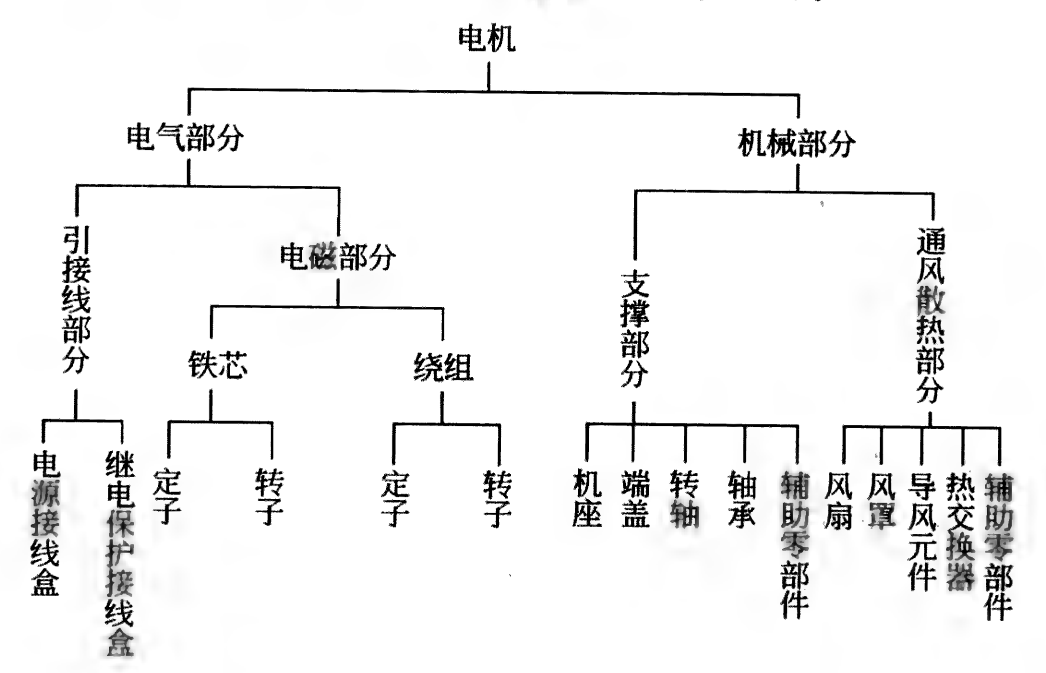
图 1-26　$\beta=11/12$ 时 T-s 曲线产生严重凹陷示意图

气隙不均匀产生的电磁噪声及振动都要明显地增加，轴承也要过早地损坏。

用户发现上述问题时，找到生产厂家，厂家有时也纳闷：这电机出厂时好好的，怎么几个月后就出毛病啦！病根就在出厂检查时很难发现因机座时效不到位遗留的隐患。

1-45　防爆、防腐电机由几大部分构成的?

防爆、防腐电机的组成与普通电机没有什么区别，只是对外壳、接线盒等零部件按防爆规程多加些特殊要求；涂覆上多些规定而已。所有电机均由电气、机械两大部分组成：



1-46 完成一项设计任务需要循着怎样的步骤？

因修理面目皆非的电机与重新设计已相差无几，修理部门就需要涉足全新电机的设计过程与技术。

全新电机的设计过程依次有如下四个步骤。

① 供需双方签订技术协议书，它是电磁设计的依据。

② 电磁设计，它是电机的心脏部分，要在结构设计之前完成。

③ 按照协议书的规定及电磁设计给出的心脏部分的数据完成结构设计。

④ 给出用于制造的全部技术文件及图样。

诚然，修理部门有时凭借现成的资料，或者为了赶进度，上述的四个步骤未必都能规范地完成，但这个程序及每个步骤中应完成的任务，仍然需要掌握，以应对千变万化的修理任务。

(1) 供需双方签订技术协议书

协议书由以下 4 部分内容构成。

① 需方提供所需电机的基本参数及特征　包括电压、功率、极数或转速、频率、工作方式、安装方式、防护等级、防爆等级、绝缘等级、型号或机座号及安装尺寸（标准产品可不提供安装尺寸，写明电机型号即可）。

② 需方提出的特殊要求

a. 特殊环境

ⓐ 海拔高于 1000m，环境温度高于 40℃或低于－25℃。

ⓑ 使用场所有盐雾、粉尘、腐蚀性介质、用于湿热带、户外等。

b. 非标准的安装尺寸。

c. 特殊的技术指标要求　如：堵转转矩倍数大于 2.5、堵转电流倍数小于 4 等。

d. 其他非正常要求　如：电压波动为±10%、低噪声、高转动惯量、特殊的继电保护装置等。

③ 由供、需双方磋商的技术指标　包括 η、$\cos\varphi$、T_m、

T_{st}、I_{st}及绕线转子的电压U_2、电流I_2。若为标准产品，仅标明型号即可。

④ 供方承诺的有关事宜　如：设计完成后提供外形安装尺寸的时间、需要需方自备的电气元件的规格等。

最后，双方签字，并将协议书作为合同的附件。

（2）电磁设计见第二章。

（3）结构设计见第三章。

（4）给出用于制造的全部文件及图样。

按照前三项提供的数据要求、总结构框架，借助 CAD 及有关标准进行施工设计——编写文件，绘制图样。

第二章　常见的电气故障及电磁数据的确认

第一节　电气故障的诊断

2-1　常见的电气故障有哪几种？

常见的电气故障有五种，即：

① 绕组故障；

② 绝缘故障；

③ 铁芯故障；

④ 引接线故障；

⑤ 综合故障，即由设计、制造、维护等综合因素引发的振动、噪声、轴电流及三相不平衡、集电环发热、打火等。

2-2　如何诊断电气故障的类型、分析故障原因及处理故障？

常见电气故障的类型、原因及处理对策见表 2-1。为便于检修时操作，将“故障类型”分解为设计、制造、使用维护三个责任部门。

表 2-1　常见电气故障的原因及处理对策

序号	故障表现	故障原因	故障的责任部门			处理对策
			设计	制造	使用维护	
1	电机不能启动	(1)绕组断路、短路、接地		√		打开绕组端部，查找故障点，进行局部修补或重绕
		(2)绕组接错		√		按设计规定重接

续表

序号	故障表现	故障原因	故障的责任部门			处理对策
			设计	制造	使用维护	
1	电机不能启动	(3)熔丝烧断			√	按电机规格配熔丝
		(4)过电流继电器整定值小			√	按电机堵转电流 I_{st} 设定整定电流；若选用了速断保护，则整定电流值应大于 I_{st}，约为 I_{st} 的1.4～1.5倍
		(5)控制设备接线错误			√	校正后重接
		(6)绕线转子电机启动误操作			√	检查集电环短路装置及启动变阻器设定的位置，启动时应串接变阻器
2	电机接入电源后熔断丝被灼断	(1)单相启动			√	检查电源线、电机引线、熔断器及开关的各对触点，找出断线或接触不良处
		(2)定、转子绕组接地或短路		√		打开绕组端部，查找故障点，打开局部修补或重绕
		(3)电机负载过大或被卡住			√	将负载调至额定值；排除被拖动机构的故障
		(4)熔丝截面小			√	熔丝对电机过载未起保护作用。可参照下式选择熔断器：$熔断器额定电流=\frac{堵转电流}{2\sim3}$ 即可
		(5)绕线转子电机接的启动电阻太小或被短路			√	消除短路故障或增大启动电阻
		(6)电源与电机间的接线短路			√	查出短路点后修复线路

续表

序号	故障表现	故障原因	故障的责任部门			处理对策
			设计	制造	使用维护	
3	通电后，电机不启动，嗡嗡响	(1)定、转子槽配合选择不当	√			见2-17
		(2)定、转子绕组断路		√		打开端部，找出故障点，进行局部修补或重绕
		(3)绕组引线始末端接错或绕组内部接反		√		按设计资料重接
		(4)电机负载过大或被卡住			√	检查设备，排除故障
		(5)电源未能全部接通			√	更换熔断的熔断器；紧固接线柱松动的螺母或螺钉；借助万用表查找断的相或虚接故障，然后修复
		(6)电压过低		√		若△接电机误接成Y接，应改回△接
					√	电源电压太低时，与供电部门联系解决；若线路压降大，可改用粗电缆
		(7)对于小电机，润滑脂变硬或装配后局部(如内盖与轴)卡住		√	√	更换润滑脂，重新装配
4	电机外壳带电	(1)电源线与接地线接错			√	查出后重新接线
		(2)绕组受潮，绝缘老化		√	√	仅是受潮，可将绕组烘干。若绝缘老化，则应更换绝缘
		(3)引线接地		√	√	包扎或更换引线；清除引线周围的毛刺、尖角；引线外套保护管(如玻璃丝管或在电机的出线口处加橡胶保护圈)

续表

序号	故障表现	故障原因	故障的责任部门			处理对策
			设计	制造	使用维护	
4	电机外壳带电	(4)线圈端部碰端盖或机座	√	√		先在接地处包扎绕组、涂漆，再在端盖或机座处垫绝缘，垫前外侧涂浸渍漆，然后烘干，使绝缘与端盖或机座成一体
5	电机空载或负载时电流表指针不稳，摆动	(1)笼型转子开焊或断条		√		用开口变压器或其他仪器检查。对铜条转子可以补焊；铸铝转子则宜重铸
		(2)绕线转子某相电刷接触不良		√		调整刷压，按集电环外圆弧度磨电刷接触表面，以增接触面积
		(3)绕线转子集电环短路装置接触不良		√		检查修复或更换短路装置
		(4)绕线转子一相断路		√		用校验灯、万用表找出断路处后修复
6	电机启动困难，加负载后不能升至额定转速	(1)电源电压低			√	电源电压太低时，与供电部门联系解决；若线路压降大，可改用粗电缆
		(2)△接绕组误接成Y接		√		改回△接
		(3)笼型转子开焊或断条		√		用开口变压器或其他仪器检查。对铜条转子可以补焊；铸铝转子则宜重铸
		(4)绕线转子电刷与集电环接触不良		√		调整刷压，按集电环外圆弧度磨电刷接触表面，以增接触面积
		(5)绕线转子一相断路		√		用校验灯、万用表找出断路处后修复
		(6)绕线转子电刷或启动变阻器接触不良		√	√	检修电刷与启动变阻器的接触部位

续表

序号	故障表现	故障原因	故障的责任部门			处理对策
			设计	制造	使用维护	
6	电机启动困难，加负载后不能升至额定转速	(7)定子绕组匝数多	✓			见2-17
		(8)定子绕组节距不合适	✓			
		(9)定、转子绕组有局部线圈接错或接反		✓		按设计资料复查，重新接线
7	空载运转时电流不平衡，差得多(任意一相空载电流值大于三相平均值的10%)	(1)三相匝数不相同		✓		按设计数据重绕
		(2)绕组首尾接错		✓		按设计图样重接
		(3)电源电压不平衡			✓	测量电源电压，找出原因消除
		(4)绕组有故障，如匝间短路；有接反的线圈等		✓		拆开绕组端部，检查绕组的极性及故障点，按故障轻重予以修复或重绕
8	三相空载电流虽平衡，但普遍增大(与型式试验值比)	(1)线圈匝数不够	✓			重新设计绕组
		(2)Y接电机误接成△接		✓		重新线
		(3)电源电压过高			✓	设法恢复到允许值(U_N+5%U_N)
		(4)电机装配不当，如装反、定、转子铁芯没对齐等		✓		按设计、工艺要求，重新装配
		(5)气隙值大了	✓	✓		修改设计。若加工错了，则要重做转子，或采取其他补救措施，如变动匝数
		(6)铁芯破损较大		✓		修铁芯，或采取其他补救措施，如重新设计绕组

续表

序号	故障表现	故障原因	故障的责任部门			处　理　对　策
			设计	制造	使用维护	
9	集电环发热或有刷火	(1)集电环椭圆或偏心		√		将集电环磨光或车光(粗糙度应符合设计规定)
		(2)电刷压力偏小或刷压不均		√		调整刷压,符合要求为度
		(3)电刷被卡在刷握中,使电刷与集电环接触不良		√		修磨电刷,使它在刷握中的间隙均匀,并符合要求
		(4)电刷牌号不符		√	√	选用设计规定或与之性能、质量相当的电刷
		(5)集电环表面有污垢,或表面粗糙度不够引起导电不良		√	√	清除污物,或将集电环表面磨光
		(6)电刷数目不够或截面积较小	√			增加电刷数目或增加电刷接触面积,使该处电流密度符合工作要求
10	电机运行时有杂音,不正常	(1)槽配合不当	√			见 2-17
		(2)转子与定子凸出物,如漆瘤、绝缘纸、槽楔等相擦		√		修理定子内径
		(3)轴承磨损有故障			√	更换轴承
		(4)定、转子铁芯松动		√		重新压紧或更换铁芯;或浸无溶剂漆
		(5)电压太高或不平衡			√	查找原因后,使电源达到技术条件的规定

续表

序号	故障表现	故障原因	故障的责任部门			处理对策
			设计	制造	使用维护	
10	电机运行时有杂音，不正常	(6)定子绕组接错		√		重接
		(7)绕组有故障		√		打开绕组端部，查找故障点，进行局部修补或重绕 按设计规定重接
		(8)每相匝数不相等		√		按设计数据重绕
		(9)轴承缺少润滑脂			√	清洗后参照第三章第二节加注润滑脂
		(10)风扇碰风罩或风路中有异物		√		修理风扇、风罩，清理风路
		(11)气隙不均匀，有轻微扫膛现象		√		查找不均匀的病根在定子侧还是在转子侧，对症下药——修定子内径或转子外径，或两者均修
11	电机过热或冒烟	(1)电源电压偏高，使磁路饱和			√	使电源恢复正常值或在允许的波动范围内
		(2)电源电压过低，在负载不变时使电机电流 I_1 增加			√	使电源恢复正常值或在允许的波动范围内，或者设法减少线路压降
		(3)铁芯局部损坏			√	修铁芯，或采取其他补救措施，如重新设计绕组
		(4)扫膛		√		查找不均匀的病根在定子侧还是在转子侧，对症下药——修定子内径或转子外径，或两者均修
		(5)绕组、风路积垢			√	清理污垢

续表

序号	故障表现	故障原因	故障的责任部门			处理对策
			设计	制造	使用维护	
11	电机过热或冒烟	(6)电机过载或拖动的机械阻力过大			√	排除机械故障，减少阻力。若 $I_1 \approx I_N$ 仍过热，则应更换功率较大的电机
		(7)电机频繁启动或正反转次数过多			√	减少启动及正反转次数或更换合适的电机
		(8)笼型转子断条、细条；绕线转子接线松脱，转子过热“烤”定子		√		断条、细条的转子要重新更换；绕线转子松脱处要补焊或用螺钉加固
		(9)绕组匝间短路、相间短路或接地		√		打开绕组端部，查找故障点，进行局部修补或重绕
		(10)电机冷却空气的温度高			√	对自扇冷电机，应检查环境温是否正常。否则，应设法降低环境温度；对于空/水冷电机，应检查冷却水的进口水温是否过高，应使水温维持在电机说明书规定值的左右
		(11)风扇故障，通风不良			√	修复或更换风扇
		(12)电机两相运行			√	检查熔丝、开关触点，排除故障
		(13)浸漆质量差		√		浸漆质量差，即没浸透，是电机质量的大隐患。若温升高得多，浸的质量差的多，定子应废掉。因为再补浸一次，效果并不明显，空隙倒是被填充一些，但其他部位也挂了漆，影响散热

续表

序号	故障表现	故障原因	故障的责任部门			处理对策
			设计	制造	使用维护	
11	电机过热或冒烟	(14)绕组接线错误		√		Y接误接成△接；或反之，均应按设计规接线
12	铜条转子笼条伸出铁芯部分拱起	电机在启动、制动及正反转状态下工作时，笼条内较大的电流产生的热效应使笼条局部膨胀，间歇时，笼条又收缩，在离心力作用下，容易使笼条拱起		√		1. 加热拱起部分，用机械方法将拱起部分调直 2. 拆下笼条，调直后再插入槽内焊牢 3. 更换强度较高的笼条
13	铜条转子笼条伸出铁芯部分弯曲	这种故障多发生在转子圆周速度较大的电机上。端环与外面的护环成一体后 GD^2 值较大，刹车时将导条拉弯		√		1. 将护环改为无纬带绑扎，或玻璃钢等质量小、GD^2 小的材质 2. 提高端环与轴或转子支架配合的紧密度，以分担刹车时产生的惯性力
14	拼焊的端环开焊	修理时，为省料采拼焊的端环，因焊接工艺不当使焊口开焊		√		1. 宜采用整块铜条煅制的整体端环 2. 改进焊接工艺(如焊接坡口的尺寸及位置的设置等)
15	铜条在端环处断裂	(1)产生机械振动，笼条在槽内松动		√		1. 减小笼条与槽的配合间隙 2. 用0.2～0.3的金属箔作槽衬，提高笼条与槽配合的紧密度，并改善插铜条的工艺

续表

序号	故障表现	故障原因	故障的责任部门			处理对策
			设计	制造	使用维护	
15	铜条在端环处断裂	(2)焊接工艺不当		√		改进焊接工艺，铜条与端环宜在相同状态下一次焊成，以免焊口处沿圆周收缩不均匀，使转子产生菱形，铜条也因此承受额外的应力而易断裂
		(3)焊前，笼条与端环的配合不当	√			笼条应车一刀，将端环车一个与之配合的凹槽，加热装到笼条上
16	笼条在端环处开焊	(1)双笼转子上笼因电流密度大、启动、制动频繁开焊	√	√	√	1. 上笼一般为黄铜，端环为紫铜，焊在一起时，原本就存在材质之差对焊接工艺有特殊要求的问题，在焊料及焊接操作上都要精心：比如选银焊条，在热态下一次焊成。此外，上笼电密因其电阻率是下笼的3倍左右而不宜选得过高 2. 启动次数应与说明书接近为宜。若工作状况十分苛刻，应事先与设计部门联系，以便设计时考虑严酷的工作状况
		(2)单笼(一般为紫铜)开焊原因： ①焊接工艺不当		√		改进焊接工艺，铜条与端环宜在相同状态下一次焊成，以免焊口处沿圆周收缩不均匀，使转子产生菱形，铜条也因此承受额外的应力而易断裂

续表

序号	故障表现	故障原因	故障的责任部门			处理对策
			设计	制造	使用维护	
16	笼条在端环处开焊	②笼条与端环配合不当	√			笼条应车一刀，将端环车一个与之配合的凹槽，加热装到笼条上
		③笼条在槽内松动	√			1. 减小笼条与槽的配合间隙 2. 用0.2～0.3的金属箔作槽衬，提高笼条与槽配合的紧密度，并改善插铜条的工艺
		④焊条牌号不适合	√	√		选用优质、合适的焊条
		⑤电机过载			√	恢复说明书规定的正常工作状态。否则，可以重选电机或向设计提出新的要求，以便设计时纳入
		⑥工作中振动较甚			√	查找原因，减缓振动下工作状况
17	铸铝转子风叶变形或断掉	（1）拆装时机械损伤		√	√	1. 按工艺要求正确操作 2. 浇注前检查铝的化学成分及物理性能 3. 校正变形风叶 4. 采用氩弧焊补焊
		（2）铸铝时风叶有夹杂		√		
18	铸铝转子细条、断条	（1）铝液或槽内杂质较多。如：将从废转子中熔化的旧铝及旧转子回用		√		检查铝液化学成分，控制在标准范围（含容差）内使用；熔化的旧铝提纯后再用，或掺入批量纯铝中，但本批铝水化学成分必须合格；旧转子复用时务必清理干净且不得有菱形
		（2）转子铁芯装压过紧，浇注后回弹将导条拉细、拉断		√		按工艺要求压紧

续表

序号	故障表现	故障原因	故障的责任部门			处理对策
			设计	制造	使用维护	
18	铸铝转子细条、断条	(3)浇注时中途停顿，先后注入的铝液结合不好		√		熔后重新浇注。 若转子较大，铝包又小，应采取多人浇注或改用大铝包。总之，浇注时不能断流
		(4)铸后脱模早		√		按工艺规程操作
		(5)转子叠片时槽壁不整齐		√		熔后重叠
		(6)假轴斜键与冲片配合过松		√		更换或修理键、假轴
		(7)转子铁芯预热后乱滚，冲片产生周向位移		√		按工艺规程操作
		(8)铁芯叠压力小或毛刺较大		√		按工艺规程操作；毛刺不得大于0.07
		(9)刀形槽上部过窄	√			见2-17
		(10)端环形状、尺寸不尽合适，浇注后先于导条凝固，将导条拉细	√			改进设计，见2-17
19	铸铝转子端环有裂痕	(1)铝液中有夹渣		√		按工艺规定控制温度、化学成分
		(2)铝液化学成分不合格		√		清除杂质，使化学成分达标
		(3)铸铝模不合适		√		修改模具

续表

序号	故障表现	故障原因	故障的责任部门			处理对策
			设计	制造	使用维护	
20	接线端子间短路	(1)接线时，电缆线芯线没全部收入弓形垫圈内，使电气间隙过小			√	接线后检查实际电气间隙，其值应大于防爆规程规定的数值
		(2)接线盒内积有冷凝水			√	及时清理
		(3)昆虫进入接线盒			√	进线口处的密封务必要处理好，达到防爆要求
21	电机引出线破压	电机引线在从定子绕组端部至接线端子的路径中贴到电机的金属部位上，且引线拉得很紧，发热后金属的棱角部分逐渐进入引线的外皮中		√		1. 在电机引线的路径上清除金属的棱角、毛刺；引线不要拉得过紧 2. 引线外皮套上一层保护管 3. 电机机座上的出线口处最好加一个橡胶保护套 以上三项措施至少应具备一项
22	滑动轴承处产生轴电流	(1)磁路不对称	√			修改设计，轴电压<0.5V视为磁路对称
		(2)轴承绝缘损坏		√	√	修补或更换轴承绝缘：轴承与端盖、固定螺丝及其垫圈均要加绝缘

2-3 绕组的故障有哪些？ 怎样处理？

绕组的故障原因及处理对策见表 2-2、表 2-3。其中笼型转子绕组的故障见表 2-1。

表 2-2 散嵌绕组故障原因及处理对策

序号	故障表现	故障原因	处理对策
1	绕组绝缘强度降低	表面积垢、受潮	清洗后烘干，或用 200 号汽油与二氯甲烷混合剂洗涤，可不用烘干

续表

序号	故障表现	故障原因	处理对策
2	绕组接地	(1)绝缘老化	更换绝缘(连同绕组)
		(2)槽口处局部破压	将绕组局部加热至130℃左右,用绝缘件(如磨削后的3240环氧玻璃布板)挑开,进行局部包扎、加垫绝缘,而后涂漆烘干
		(3)竹楔吸潮、油污、槽绝缘移位	将绕组局部加热至130℃左右,用绝缘件(如磨削后的3240环氧玻璃布板)挑开,进行局部包扎、加垫绝缘,而后涂漆烘干
3	绕组短路 ①匝间短路	(1)导线本身绝缘破损	换线圈
		(2)过电压、过载或单相运行	换线修复后,加保护元件
		(3)漆的质量差,或漆浸的不透,匝间有空隙,在电磁力作用下,互相摩擦,使导线绝缘破损	换线后,重新浸漆,浸无溶剂漆或两次1032漆。若真空加压浸环氧无溶剂漆,一次即可
	②相间短路	(1)相间绝缘没垫好 (2)污物、焊锡瘤等落入相间	将绕组局部加热至130℃左右,用绝缘件(如磨削后的3240环氧玻璃布板)挑开,进行局部包扎,加垫绝缘,而后涂漆烘干
	③端部短路	连线或过桥线绝缘套管破损	清理后,换新套管,必要时加垫绝缘,然后涂漆烘干
	④端部匝间	漆的质量差,或漆浸的不透,匝间有空隙,在电磁力作用下,互相摩擦,使导线绝缘破损	换线后,重新浸漆,浸无溶剂漆或两次1032漆。若真空加压浸环氧无溶剂漆,一次即可
	⑤层间短路	层间绝缘质量差或者层间绝缘移位,或层间绝缘尺寸小	加热至130℃左右,用绝缘件撬开部分绕组,重垫层间绝缘,垫后仍涂漆烘干

续表

序号	故障表现	故障原因	处理对策
4	绕组断路	(1)引线或过桥线开焊 (2)端部因碰碰局部受损后烧断 (3)槽内线匝在嵌线时受损后烧断	将绕组加热至130℃左右，在热态下，即绕组呈柔软状态下，进行局部补焊，然后包扎、垫绝缘，再局部浸漆或涂漆后烘干
5	绕线转子端部破压	(1)绝缘处理不好 (2)绑扎不牢，运行时端部松动 (3)浸漆质量差、端部松动	更换绝缘或局部绕组；用无纬带重新绑扎，然后浸漆、烘干
6	绕线转子并头套或引出线开焊	(1)焊接质量差	应该用氩弧焊或熔点较高的磷铜焊
		(2)固定不牢	螺栓拧紧后将它与转子实体部分点焊在一起

注："故障原因"除吸潮、积垢、拆装时碰碰外均属于制造原因。

表 2-3 成型绕组故障原因及处理对策

序号	故障表现	故障原因	处理对策
1	绕组绝缘强度降低	(1)表面积垢、受潮	清洗后烘干；或用200号汽油与二氯甲烷混合剂洗涤，可不用烘干
		(2)端部散热差、局部过热使绝缘老化	若线圈间间隔小，宜重新设计绕组，见2-17；否则，应改善端部冷却状况，见第五章
2	绕组接地	(1)电机长期过载、绝缘老化	调整负载或更换功率较大的电机；更换老化的绝缘(连同绕组)
		(2)网络来的过电压，或输电线雷击过电压	加过电压保护装置
		(3)导电粉尘使爬电距离减小	定期清理，提高防护措施
		(4)通风沟齿压片开焊、铁芯叠压不紧，齿部颤动及错位的定子齿压板等刮磨线圈绝缘	检查各部焊接状况、变形情况，校正、补焊后恢复原状，铁芯不紧时，按2-6介绍的方法修复
		(5)线圈短路烧焦绝缘	查找短路原因，按序号3介绍的办法处理

续表

序号	故障表现	故障原因	处理对策
3	绕组短路 ①匝间绝缘击穿	(1)匝间绝缘材质不良	采用亚胺膜半叠包、双玻璃丝绕包的扁铜线基本上可以承受匝间的冲击电压
		(2)线圈加工时，匝间绝缘受损	按操作规程、质量保证措施加工线圈
		(3)匝间绝缘厚度不够或结构不合理	1. 按原因(1)的对策，采用亚胺膜、玻璃丝包线 2. 对于特殊或功率很大的电机，采用补强措施：如隔匝包云母带或亚胺膜、匝间加垫条等
	②绕组短路	(1)线路过电压	调整电压保护的整定值
		(2)绕组绝缘老化	更换新绕组
		(3)绕组绝缘缝隙内堆积粉尘过多	清扫洗涤绝缘，然后局部包扎，涂漆，烘干
		(4)遭受机械力或电磁力后的绝缘产生裂纹或损伤	清扫洗涤绝缘，然后局部包扎，涂漆，烘干
	③层间绝缘击穿	(1)层间垫条材质不好或厚度不够	改用3240环氧玻璃布板，厚度≥1.0
		(2)层间垫条尺寸不合适——太窄或长度不够	垫条宽≈冲片槽宽－0.5mm； 垫条长≈绕组直线部分总长
		(3)线圈松动使层间垫条磨损	加厚垫条
	④线圈与端箍磨损击穿	(1)线圈松动	紧固绑扎，整体浸漆，烘干
		(2)端箍固定、绑扎不牢	紧固绑扎，整体浸漆，烘干
		(3)绝缘粘满粉尘	清洗绝缘 采用非金属(如玻璃钢)材质端箍
4	绕组断路	(1)端部在机械力、电磁力作用下焊点开焊	补焊后，紧固绑扎，整体浸漆，烘干
		(2)焊料熔点低或焊接工艺不当，使焊点过热开焊	按焊接工艺重焊，之后绑扎，浸漆，烘干

续表

序号	故障表现	故障原因	处理对策
4	绕组断路	(3)导线材质不好,有夹层、脱皮等缺陷	更换合格导线,将故障段切除之后绑扎、浸漆、烘干
5	定子线圈绝缘磨损及电腐蚀	(1)热模压线圈与槽有间隙,在电磁力作用下使线圈绝缘磨损	浸漆,填充空隙
		(2)槽楔松动	更换槽楔,浸无剂漆、烘干
		(3)线圈尺寸公差不当	模压线圈嵌线间隙为0.3~0.5mm(跨距大、铁芯长时取大值),以此控制线圈公差
		(4)防晕漆失效	起出线圈,重涂半导体防晕漆
		(5)绝缘粘满污垢、粉尘	清扫或洗涤
6	泄漏电流大	(1)电机受潮	清理后将绕组烘干
		(2)表面粘满污垢、粉尘	清扫或洗涤
		(3)绝缘老化	更换新绝缘
7	介质损耗角增大	(1)绝缘内部有气隙	采取真空浸漆处理
		(2)绝缘受潮	烘干
		(3)绝缘处理不当	改进绝缘处理工艺,如采用VPI工艺
		(4)绝缘老化	更换绝缘(或连同线圈)
8	线圈遭受机械损伤	(1)拆装时磕碰	改进拆装时操作工艺
		(2)更换个别线圈时损伤附近线圈	按损伤程度进行包扎,然后浸烘
9	槽楔松动	槽楔老化或尺寸不当	按合适的尺寸重新配槽楔,然后浸烘
10	绕线转子端部破压	(1)绝缘处理不好 (2)绑扎不牢,绕组端部松动 (3)浸漆质量差,端部松动	更换绝缘或局部绕组,用无纬带重新绑扎,最好经真空加压浸渍处理

续表

序号	故障表现	故障原因	处理对策
11	绕线转子并头套开焊或引出线开焊	(1)焊接质量差	应该用氩弧焊或熔点较高焊料，如银焊条焊牢
		(2)固定不牢	螺栓拧紧后应有防松措施，如加防松垫或点焊

注："故障原因"除吸潮、积垢、拆装时磕碰外均属制造原因。

2-4　铁芯故障有几种？　其危害是什么？

铁芯的故障，严格地讲，指的是铁芯制造质量。它由毛刺大、叠压不齐、装压不紧及变形四种类型构成。

铁芯的好与坏，对整台电机的质量起着至关重要的作用。

铁芯质量差，电机的 $\cos\varphi$ 要降低；因铁损耗增加，效率也要降低；因空载电流大，负载电流随之增大，温升也要升高；电磁噪声要增加；毛刺大、叠压不齐，对绝缘有直接损伤，是绕组故障的祸根。为了防止因铁芯质量差，绝缘易受损伤，制造厂不得不采取消极的措施——增加主绝缘厚度，浪费材料，提高了电机成本，散热也差，而转子铁芯菱形还影响动平衡的精度。

2-5　怎样提高铁芯制造质量？

（1）减小冲片毛刺

减小冲片毛刺的措施有以下三种。

① 提高冲模精度，使用中按时修理。

② 按工艺要求去掉毛刺。

③ 对冲片进行氧化处理。

（2）提高铁芯装压质量

槽样棒与槽的公差要按工艺要求选用，不能临时凑合着用。装压后的槽形只能比冲片小 0.2～0.3mm。

装压的压力要保证装成的铁芯长度、重量均达到设计要求，不要呈疏松状态。若冲片少几片，宁可让铁芯长度短几个毫米，也不要勉强让铁芯长度够尺寸而使铁芯呈疏松状态。疏松的铁芯

既产生电磁噪声，又损伤绝缘。

铁芯装压质量的另一个标志是不产生菱形。要保证不出现菱形，一是压胎平面要与铁芯轴线呈垂直状态；二是冲片本身毛刺要小，且“同板差”在规定范围内。一般热轧硅钢片的同板差比较大。遇此情况时，应将冲片的方料在冲标记槽时按 90°间隔调换 4 种方位冲制，以消除同板差的影响。

铁芯装压最后一道工序是扣紧铁芯，使其成一整体。

中小型外压装的定子铁芯用传统的“扣片”紧固。扣片紧固的铁芯应注意如下两点。

① 扣片槽应与定子槽呈均匀、对称地匹配，以免磁路不对称，尤其是极数多的电机，因轭部窄，扣片槽对轭部磁密的分布影响较大。

② 扣片槽不宜过多。过多的扣片槽，一是影响磁场的分布；二是对于靠热传导散热的定子减少了散热面积。

由于近 20 年无溶剂漆的普及，只要在铁芯搬运、嵌线时精心操作，铁芯没变形，浸渍无溶剂漆，特别是经真空加压浸渍后的定子，烘干后，绕组与铁芯成牢固的一个整体，在很大程度上对铁芯起了加固作用。只要压入机座时精心一点，可以达到质量要求。若按上述工艺操作，扣片数量是可以减少的。

为了增加热传导散热面积，可将扣片槽移至定子冲片轭部，由若干圆孔代替。叠装成铁芯后，由螺杆拉紧，见图 2-1。

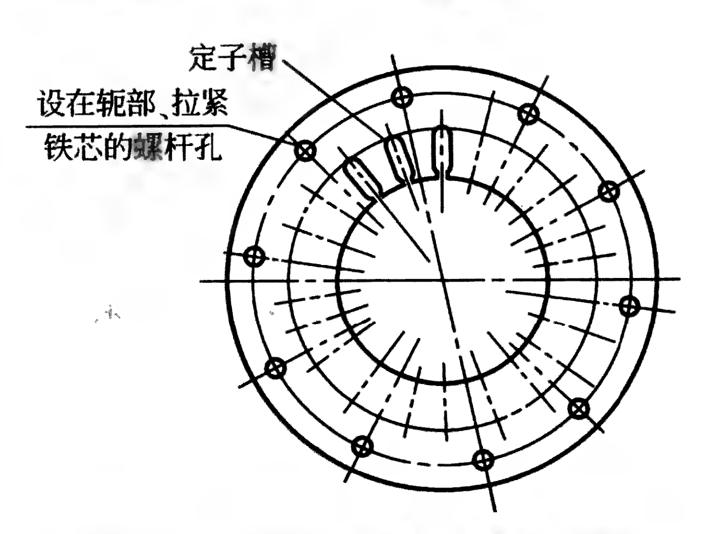


图 2-1 由圆孔代替扣片槽示意图

中大型电机的定子铁芯，叠装、压紧后由扁钢将定子压圈、定子冲片焊在一起，见图 2-2。扁钢与冲片的焊缝不必大。与上述的扣片不必太多的道理类似：只要精心操作，铁芯没变形，嵌线浸渍无溶剂漆后，绕组便与铁芯牢固地成为一体（若绕组采用“模压”工艺，嵌线后浸有溶剂的漆，则有绕组的定子铁芯的“整体性”要差些）。若焊缝太多、太大，铁耗要增加。

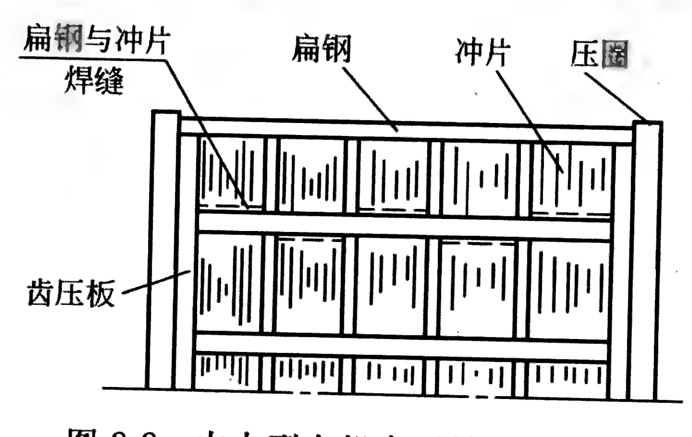


图 2-2 中大型电机定子铁芯示意图

2-6 怎样修理产生故障的铁芯？

铁芯故障主要有：冲片松动、冲片外胀、局部烧损、定子铁芯与机座及转子铁芯与轴或支架松动、定子内径被转子擦伤。

（1）冲片外胀、松动的修理

① 用适当厚度、形状的钢板塞入齿压板与冲片（见图 2-2）之间，然后用环氧胶粘牢。

② 严重时，将线圈全部拆出，重新装压铁芯。

（2）局部烧损

将烧损处清理干净，磨开被短路的冲片后，将磨削处酸洗（可用 37%的硝酸溶液）后，再用环氧胶粘住。

（3）定、转子铁芯松动

① 定子压出后，外圆涂二硫化钼粉剂后重新压入。

② 转子压出后，重新加工轴，将转子加压，或既加热又加压压到轴上，使其与轴或支架呈过盈的配合。

（4）定子铁芯内径被擦伤

在机床上将铁芯与机座一起校同轴度，然后适量地磨削铁芯内径，达到同轴要求即可。加工后，仍用酸液刷洗内径加工处，注意酸液不要浸蚀绝缘及绕组。

2-7 电机的绝缘有几处?

电机的绝缘有如下三处：

① 导线本身带的绝缘；

② 相间及双层绕组的层间绝缘；

③ 对地绝缘，亦称主绝缘。

2-8 绝缘故障产生的原因是什么?

绝缘故障产生的原因有三种：绝缘材料本身质量有问题、电机局部过热使绝缘过早老化、制造厂设计的绝缘结构或操作时安放不当及绝缘处理不当。

其中，最关键的是：嵌线时碰伤导线本身绝缘而产生匝间短路及浸漆不到位，绕组及槽中有空隙，使绕组容易吸潮、产生的热量不容易传导出来而使绝缘过早的老化。导线间有空隙，在电磁力作用下产生摩擦，也容易损伤导线绝缘。

因此，浸漆是电机绝缘处理中很关键的一环。

2-9 提高电机绝缘质量的措施有哪些?

（1） 提高铁芯质量

目前电机行业的绝缘规范基本上是统一的。材料的选用、绝缘结构的设计，各生产厂家间差别不大。但与国际比，仍有差距。比如 6kV 高压电机，德国纽伦堡电机厂单边绝缘厚度为 1.3mm，我国则为 1.8mm 左右。差距的主要原因是铁芯质量，它制约着绝缘的厚度。

（2） 合理地使用绝缘材料

聚酯薄膜、聚酰亚胺薄膜的耐压强度都很高，但不耐划，它们不能与铁芯紧挨着。当槽绝缘用两层时，它们应放在里侧。但若为了提高槽口处绝缘强度，让它们在槽口处“挽袖”后，在槽

口处靠铁芯，则效果不明显。将外层的 NMN 或 DMD 挽袖为妥。

(3) 高压电机采用 VPI 工艺时，因白坯线圈嵌线，不必留嵌线间隙。但用一层 0.1mm 厚的 NMN 作为槽绝缘较妥，避免嵌线时线圈主绝缘被铁芯划伤。

(4) 目前国内高压电机线圈主绝缘采用三种云母带，两种工艺——模压及 VPI，见表 2-4。

少胶带在 6kV 时，半叠包 0.14mm×25mm 的云母带 6～7 层即可；中胶带则要半叠包 0.14mm×25mm 的云母带 9～10 层。显然，少胶带 VPI 是高压电机的发展方向。

表 2-4　国内高压电机主绝缘

云母带牌号	含胶量/%	用于绝缘工艺	注
5440-1	>40	热模压线圈	为多胶带
5449	28～32	VPI	为中胶带
5444	17～23	VPI	为中胶带
5442-1 及 5446	5～11	VPI	为少胶带

(5) 耐压试验

对 6kV 电机，模压、VPI 在成品试验时，试验电压均为 1.3kV。但从白坯到成品的过程中，每个阶段的试验电压，模压是由高逐渐降至 1.3kV；而 VPI 则应相反，由低逐渐升至 1.3kV。因为对于 VPI 工艺，浸漆、烘干结束才被视为绝缘处理完毕：见第七章。

第二节　电磁数据的确认

2-10　一项电机的设计开始前为什么先要进行电磁设计?

如第一章第七节所介绍：要完成一项电机设计任务，需要四个步骤，电磁设计紧接协议书，排第二位。其主要原因如下。

① 由电磁设计方案可以得出电机“心脏”部分的尺寸，据此，方能进行结构设计。

② 电磁设计可以算得电机的技术指标，用这些指标的数据可以衡量电机能否满足使用要求。

③ 由电磁计算可以得出电机用的有效材料——导线、硅钢片的规格、用量，为采购人员提供生产准备用的技术资料。

2-11 电机电磁部分由几部分构成的？

电机电磁部分由导电、导磁两部分构成。导电部分为绕组，导磁部分为铁芯。因为通过计算要确定导电部分及导磁部分的尺寸、数据，所以称之为电磁计算。

2-12 怎样掌握电磁计算？

对于检修人员把握以下几个环节就可以逐渐地进行电磁计算。

（1）具备必要的理论知识

比如电机学、电机设计等及相关学科的知识，如通风散热等。当然，理论知识越深、知识面越宽，工作起来就越能得心应手，免得“人云亦云”，盲目照抄、照搬。

（2）熟悉电磁计算的源程序及由此而编的计算机软件。

（3）掌握性能指标的调整要领。

（4）多实践，反复用电磁计算软件在微机上实际操作，并将设计数据与试验结果、现场收集到的资料反复对比、修正，方能做到熟中生巧，艺高胆大。

2-13 三相异步电机的工作原理是什么？

见图 2-3（a），一只线圈在磁场中切割磁力线运动时，要产生感应电流 I；反之，若给线圈通入电流 I，则它要在磁场中受到拉力。

当一台异步电机通入三相交流电时，它要同时完成上述两个过程。

通入三相交流电的绕组要产生旋转磁场，以 4 极为例，见图 2-3（b），4 极绕组要产生 4 个闭合磁回路（图中 4 个闭合的虚

线所示)。这一闭合回路要穿过气隙，经由转子缺芯，再回到定子铁芯闭合。旋转磁场的转速为 n_1（也称电机的同步转速）

$$n_1 = 60f/p \text{ (r/min)}$$

式中　f——电源频率，Hz；

p——极对数。

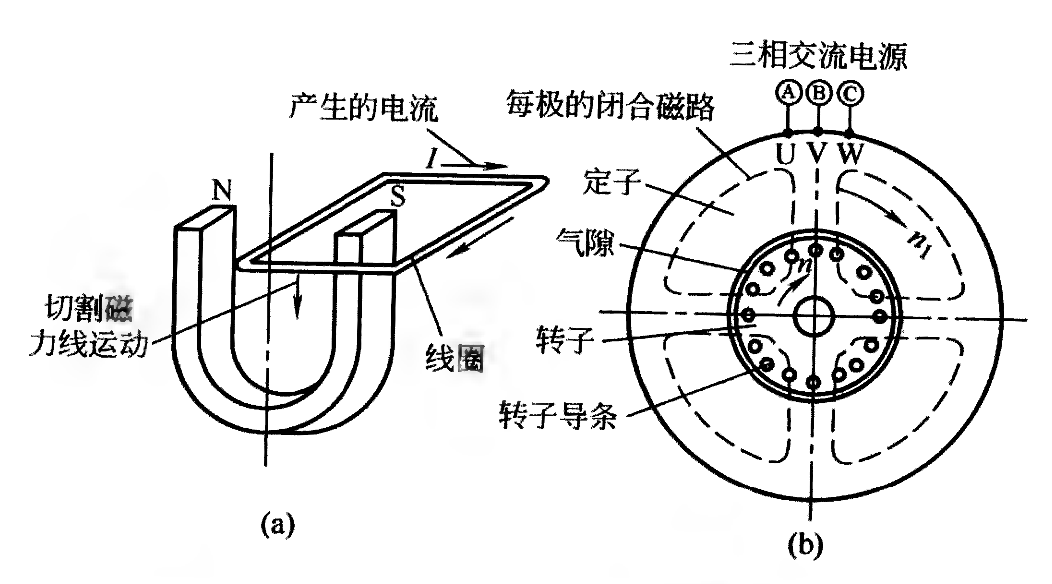


图 2-3　三相异步电机工作原理示意图

在旋转磁场作用下，转子导条因切割磁力线，产生了感应电流——完成了第一个过程；而载流的转子导条在磁场中要受到磁场的拉力——完成了第二个过程，转子因导条受到拉力而旋转，转速为 n。

若 $n = n_1$，导条与旋转磁场间就因相对静止而没有切割磁力线，也就不会产生感应电流，导条就得不到磁场的拉力，转子就不能旋转。

就是说，转子靠 $n < n_1$ 的差“异”，切割磁力线，产生感应电流，受到旋转磁场的拉动而旋转。没有这个“异”就不能工作，故称异步电机。

不同极数时的 n_1 与极数的对应关系见表 2-5。

表 2-5　不同极数时 n_1 与极数的对应关系

极数	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
50Hz 时电机的同步转速 n_1/(r/min)	3000	1500	1000	750	600	500	429	375	333	300

2-14 修理部门确定电磁方案有几种办法?

对修理厂家来说，可以有三种方式选定一个电磁方案。这三种方式虽然都能保证修后电机的安全运行，但效果却不在一个层面上。因为从生产经营全局利益着眼，三种方式各有利弊，故需分别介绍三种方法如下：

① 粗略、迅速地确定一个电磁方案；

② 借助计算程序精确地确定一个电磁方案；

③ 消除隐患优选的电磁方案。

2-15 怎样粗略、迅速地确定一个电磁方案?

检修电机时，常常因为检修工期特别短，需要迅速地、粗略地将电磁方案确定下来。其简便的办法是查阅现成的数据表（见附录）。

参考现成的数据表时，要注意如下三种情况。

(1) 当所修理电机的基本参数——电压、功率、极数、机座号及通风散热方式与所参照的数据表吻合；自己的加工工艺及所用的有效材料也与数据表的厂家基本相同时，数据表上的数据——冲片三圆、铁芯长、定转子槽形、导线规格、匝数、节距及气隙值等可以“拿来就用”。

(2) 基本参数及通风散热方式虽然与数据表吻合，但自己的加工工艺及所用材料与数据表厂家有差异时，应将数据表中数据适当调整后再为己用。调整的目标是防止温升不合格。调整的措施主要是三项——铁芯长、导线线规及匝数。左右调整的因素主要有如下 5 项。

① 硅钢片绝缘处理

硅钢片绝缘处理有三种：

a. 热轧片氧化处理；

b. 热轧片涂漆处理；

c. 冷轧片用自带漆膜作为片间绝缘。

其中 a 与 b 差别较大。a 优于 b 之处如下：

ⓐ 铁芯叠压系数 a 为 0.95，b 为 0.92；

ⓑ 氧化后除使片间毛刺减小外，高温又可以使冲片冲制时囤积的内应力消失一大部分，从而降低了铁损耗。

② 绕组浸渍工艺 真空加压整浸与常压下沉浸。前者国际上称“VPI”，后者多用于低压电机及高压电机采用热模压线圈加工工艺上。前者不仅在电气强度、机械强度及耐潮、耐腐蚀性能上优于后者，热传导性也好得多。对于6kV高压电机，在电磁负荷、通风散热方式基本相同的情况下，其温升要比后者低10℃左右。

③ 绝缘规范 目前国内低压电机的绝缘规范差别不大。高压电机比较大。除VPI与热模压之差外，主要差在云母带的含胶量上。热模压用多胶带，VPI用中胶带与少胶带。以6kV为例，中胶带单边主绝缘厚度，国内是1.8～2.0mm；少胶带则可以是1.5mm左右。这一差别对电机温升要有一定的影响。

④ 定子铁芯装压工艺 内压装在散热上比外压装稍许有利些。

⑤ 硅钢片材质 不同牌号的热轧片、冷轧片在导磁及损耗上均有差别。因其差别就摆在桌面上，此不赘述。

如上所述，若在加工工艺、选材上有利因素多，设计上就可以少用点硅钢片、导线。否则，就应该多用点。多用的办法是：增大导线截面积，减少匝数，按匝数减少成反比地放长铁芯。比如匝数由20减到19，原铁芯长度L就应该增至（20/19)L。

对于较大的电机，因匝数少，不宜按上述规律调整时，宜多从工艺、材料上采取补救措施；或者从通风散热上补救，见第五章。

（3）若数据表查不到相吻合的数据，只能找到相近的数据时，机座号（在电磁数据上显示的是定子冲片外径）不用变，用调整铁芯长L、导线截面积及匝数的办法获得所需的电磁方案。

按以下办法调整的前提是通风散热方式、硅钢片材质及工艺

方法基本上与提供数据的厂家相同。在此基础上若拟定一个功率较大或较小的电磁方案时，可遵循功率与导线截面积、铁芯长 L 成正比，与匝数成反比的规律，按照功率变化的比率将所参照的数据变成自己电磁方案的数据。

因具体操作时功率 P_N、铁芯长 L、导线截面 A_c 及线圈匝数 N 之间的比例关系，彼此不一定刚好吻合，特别是功率大的电机。这就需要磁通密度（磁密）与电流密度（电密）之间互补。比如，当定子电密 J_1 比较高时，可将 L 在原已确定增长的数值上再增加一点，使磁密 B 低点。反之亦然（但 B 的限值不能超越）。

还需注意的是在机座号、机座长度不变的情况下，若派生一个功率较大电机的电磁方案，由于仅靠铁芯长增加的散热面积弥补不了因功率增加而产生的损耗的增加，则铁芯长还应该再增加5%左右。

比如，某用户要将一台因故障而损坏的 6kV，YB450-2 型 500kW 电机增容至 550kW。原设计 500kW 的 $L=640\text{mm}$，线规是 2.8mm×7.1mm，匝数＝9。试给出增容至 550kW 时的 L、线规及匝数。步骤如下。

① 功率增加$\frac{550}{500}=1.1$倍，先按比例关系，得 $L=1.1\times640=704$（mm)，线规＝1.1×2.8mm×7.1mm＝3.08mm×7.1mm，匝数＝9/1.1＝8.18。

② 调整到标准值后，线规＝3.15mm×7.1mm，匝数＝8。

③ 校核 L、线规、匝数。匝数由 8.18 变为 8，欠点，则 L 应增点，增至 720mm。

④ 若机座没增长，即散热面积没增加，则 L 还应增加 5%左右。因导线增幅没减少，取 $L=750\text{mm}$ 就差不多。则 550kW 的 $L=750\text{mm}$，线规为 3.15mm×7.1mm，匝数＝8。其余与原 500kW 电机相同。用以上变动的三个数分别取代原 500kW 的 640mm、2.8mm×7.1mm 及 9，便得出 550kW 电磁方案的三个主要数据。

若找不到接近的电磁数据作参考如何处理？可按 2-16 介绍的方法给出待修电机的电磁方案。

2-16　怎样借助电磁计算程序确定一个电磁方案？

利用电磁计算程序在微机上采用“人-机”对话的方式寻找、筛选电磁方案。

（1）电磁计算程序的构成

目前国内中小型三相异步电机计算机用电磁计算程序是以上海电器科学研究所编制的《中小型三相异步电机电磁设计程序》为源程序，利用计算机语言，将曲线经过数学处理化成公式后编制而成的计算机软件。为缩短程序长度，加快运算速度，方便使用，将源程序分为 4 个计算机软件。即：

① 低压笼型散嵌绕组电机电磁计算程序；

② 高、低压笼型成型绕组电磁计算程序；

③ 双笼电机电磁计算程序；

④ 绕线转子电机电磁计算程序。

4 套软件的构成模式，即框图基本相同：由输入数组、计算过程及输出数据组成。

（2）怎样操作电磁计算软件

操作程序分如下三步。

① 计算者输入数据　用鼠标点击每个输入数据的代号，屏幕上就显示出标识符代号的含义，将拟定的数据依次输入即可。

② 点击“电磁计算”，若输入数据给的完整，且基本上没离谱，则计算机便给出全部所需的计算数据。

若计算结果与预期的数值有差距，则可调整有关的输入数据重新计算，直至满意为止，故称“人-机”对话。

③ 将满意的计算结果存入微机或打印出来。

（3）寻求满意的电磁设计方案

满意的设计方案靠设计者调整输入数据“人-机”对话获得，可参考表 2-6。

表 2-6 怎样调整电磁计算输入数据获得较好的性能指标

序号	调整项目	调整办法
1	提高效率 η	$\eta=(P_1-\sum P)/P_1$，P_1 为电机的有效输入功率，$\sum P$ 为电机的总损耗($P_1=P_N+\sum P$)显然，降低$\sum P$，就可以提高 η。$\sum P$ 由五部分构成：定子铜耗、转子铜(铝)耗、铁耗、机械耗(或称风摩耗)、杂耗。对于小电机，铜耗占的比例大；大电机铁耗占的比例大；对于自扇冷的 2、4 极电机，风摩耗占的比例大。风摩耗、杂耗，程序按经验值输入，但其实际值则隐蔽地对性能产生影响，见 2-17
2	提高功率因数 $\cos\varphi$	$\cos\varphi=\dfrac{P_1}{\sqrt{3}U_N I_N}$，功率三角形为 $\sqrt{3}U_N I_N$ φ P_x P_1，P_x 为消耗在电磁感应中的“无功功率”。因此，降低无功功率即可提高 $\cos\varphi$。降低的办法是减少构成无功电流的两部分——磁化电流及电抗电流：降低各部分磁密(增加铁芯尺寸；增加有效串联导体数)；减小气隙；减小槽高与槽宽之比；增加定、转子槽数；采用磁性槽楔
3	降低启动电流 I_{st}	增加启动阻抗：增加槽高与槽宽之比(与 $\cos\varphi$ 相悖)；增加有效串联导体数；减少定、转子槽数(与 $\cos\varphi$ 相悖)；适当减少转子槽集肤高 h_{pr} 部分的宽度(如刀形槽的 b_{r2})
4	提高启动转矩 T_{st}	与降低 I_{st} 相反，减小启动阻抗。为了在提高 T_{st} 同时，使 I_{st} 增加的少一点，可采用上笼电阻高的双笼转子；也可将普通铸纯铝的转子改为铸硅铝合金或铝锰合金(槽形也要随之调整)；此外，减小 b_{r2} 也能收到提高 T_{st} 效果；增大气隙也能收到提高少许 T_{st} 的效果
5	提高最大转矩 T_m	减小运行的阻抗：减小定子电阻及定、转子总漏抗，减少有效串联导体数；增加定、转子槽数；增大气隙；减小槽高与槽宽的比。此外，在其他参数相近时，短粗的电机比细长的有较高的 T_m 值
6	提高最小转矩 T_{min}	使气隙磁场波形接近正弦波，如采用双层短节距绕组，并使短距系数≈0.8；转子槽扭斜；适当增大气隙；将原为单层绕组的小电机改为单、双层混合绕组(亦称正弦绕组)；采用“人”字扭斜的转子等
7	降低电磁噪声	见第四章
8	降低温升	1. 减小电机的电磁负荷：减小定、转子电密及热负荷；适当降低磁密 2. 合理地匹配电密 3. 采用比耗较小的硅钢片，并对硅钢片进行氧化处理 4. 改进通风散热结构，见第五章
9	降低电磁振动	见第四章

注：定、转子铜耗是指各自的 I^2r 发热损耗。

2-17　怎样消除在电磁计算中存在的隐患因素?

在电磁计算中，有些数据很难从目前国内使用的电磁设计程序的计算结果上觉察到它们对电机性能、质量的影响。设计者要利用掌握的理论、实践知识仔细审视、“认可”每一个数据。这个“认可”是个颇费心思的过程。

以下列举 10 个不容易觉察的隐患性因素，以及消除这些隐患的对策。

（1）定、转子槽配合

定、转子槽配合对性能的影响虽然从计算结果上很难显示出来，但成熟的文献比较多，避开不良的槽配合即可。但下列两种情况应予注意：

① 2 极电机几乎不存在理想的槽配合，设计时应从其他参数的选择上予以弥补：如气隙选得略大一点；转子扭斜；齿磁密不要选得过高等。

② 制造厂为了节省模具，常将 6、8 极冲片合为一个。这就存在其中一个要亏一点，表现在短距系数 β 及气隙磁密上，比如定子为 72 槽时，8 极的 β 值就无法靠近 4/5 或 5/6。与 2 极类似，要在气隙、磁密等方面补偿一点。

（2）气隙

气隙值选得小时，从计算结果上直接显示的是 $\cos\varphi$ 提高了，但隐藏的因素——噪声、温升、杂耗、振动都要增加。设计时不要被较高的 $\cos\varphi$ 所迷惑，务必从“全局”着眼。

（3）绕组节距 Y

① 双层绕组可以利用短节距削弱 5 次谐波，见第一章第七节的实例。但 2 极电机因嵌线工艺的制约，无法使 $\beta=4/5$ 或 5/6；6、8 极通用冲片时也有类似情况。此时，应如上述，在磁密、气隙的选择上有意识地作点“牺牲”。

② 单层绕组占不到短节距改善磁场波形的便宜，同样，在其他方面稍许松动一点，以求补偿。如德国西门子公司纽伦堡电机厂，为节省工时将单层绕组扩充到较大的机座号。为了改善磁

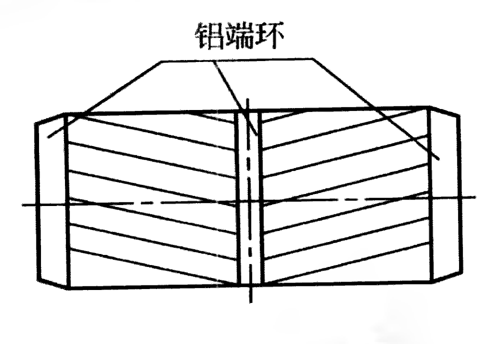


图 2-4 人字扭斜铸铝转子示意图

场波形，将铸铝转子改为人字扭斜，见图 2-4。

(4) 定、转子槽形

① 定、转子槽形尽量不要带“尖角”，尖角除使模具寿命降低外，还因尖角处对冲片磁畴的排列破坏较大，而使铁耗增加；磁路也因此而不畅，当然也会影响 $\cos\varphi$。因此，在设计定、转子槽形时，尖角处可带有 $R_1 \sim R_3$ 的圆角，如图 2-5 所示。

② 刀形槽 b_{r2}（见图 2-6）不宜过窄。为获得较高的启动转矩 T_{st}，有的设计员将 b_{r2} 选得过小。当铁芯较长、转子扭斜，采用离心铸铝时，b_{r2} 过小会使该处浇注不满或铝条疏松，这都是细、断条的隐患。采用离心式浇注时，180 机座号以下应使 b_{r2} $>$2.5～3.0mm；200～355 机座号应使 $b_{r2}>$3.0～3.5mm；再大的机座号应使 $b_{r2}>$4.5～5.0mm。

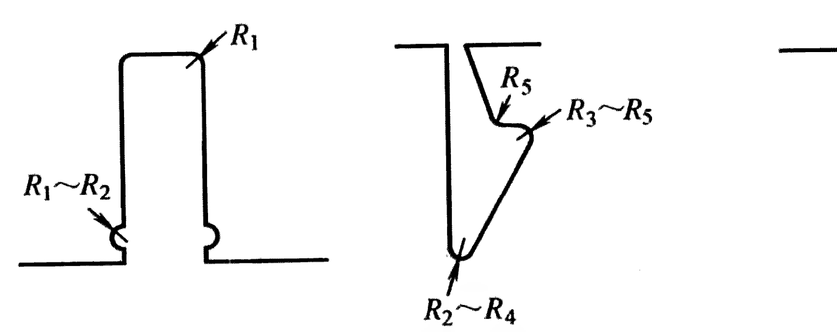


图 2-5 不带尖角的槽形

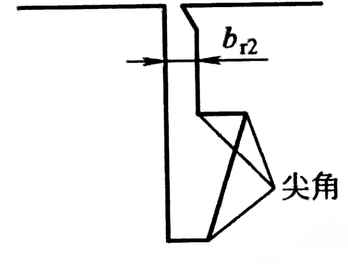


图 2-6 带尖角的槽形

(5) 铸铝转子端环的形状、尺寸应保证浇注后在导条之后凝固。否则，容易将槽中的铝条拉细。

(6) 铜条转子也要扭斜。否则，振动、噪声及最小转矩过低等弊病均要接踵而来。

(7) 绕组并联路数 a 应尽量选得大些，有利于磁路对称、均匀，对降低电磁声、轴电压均有益。

(8) 电密、磁密的匹配要合理

① 转子电密不宜偏高。无论何种通风方式，转子热量都要有很大一部分通过定子逸散。对于自扇冷铸纯铝的电机，定子电密∶转子导条电密∶转子端环电密≈4∶2∶1比较合适。铜条转子、绕线转子也应参照此公式，按照转子铜耗的比例选取导条、端环部分的电密。

② 铁芯部分的磁密，在计算时应注意以下两点

a. 当定子为平行槽时，计算单上显示的是距最窄处1/3高度处的磁密。若该处磁密>1.6T（对于平行齿则为正常值），则最窄磁密将大于2.2T，这会使铁芯中脉振损耗明显增加；电磁噪声也要随之增加。这在计算单上是显示不出来的。因此，在选用平行槽时，应核算一下最窄处的磁密值，将它控制在小于2.2T为宜。

b. 对于多极电机，铁芯中轭部磁密比较小，应视为正常，不要在此处挖潜。否则，虽然在正常值范围内铁耗增加不多，但轭部过窄会使铁芯刚度，乃至装压后定子刚度降低，铁芯变形要大，电磁噪声也要增加；若铁芯受到不均匀的挤压，铁耗也要增加，这都是计算单上显示不出来的。

(9) 成型绕组端部线圈间间隙 X_i 不宜过小。电磁计算时，X_i 作为输入数据输入微机中。X_i 小，线圈端部短，省铜线，这是看得见的利益。但 X_i 小了，绕组端部线圈之间间隙小，不利于散热；同时绕组端部的弹性也小了，嵌线时容易损伤导线的绝缘。

(10) 杂散损耗 P_s，也作为输入数据输到微机中。程序中推荐的经验值为 $P_s=0.5\%P_N$。此值要随着不同的产品成倍地相差。特别是2极电机，实际的 P_s 要远远大于 $0.5\%P_N$。有时，效率的实际值比计算值小，这也是原因之一。

杂散损耗归结到铁耗之中，主要由铁芯中的表面损耗和脉振损耗构成。设计者应按照电机学的理论，在处理计算机数据时，考虑降低杂耗的因素。如适当降低气隙磁密、减小定转子槽口宽度等。

第三节 更换绕组、改电压、改极数

2-18 更换绕组、改电压、改极数在电磁上遇到的通用性问题是什么？

换绕组、改电压、改极数都是属于电磁上的改动。改后遇到的通用性问题是：温升不能高、电气性能只能在允许的范围内波动、电磁噪声不能高、绝缘强度要保证。要达到上述要求，在电流密度（电密）、磁通密度（磁密）、绕组类型、节距及绝缘结构的选择上务必要遵循一定的规律、规范。

制约的主要因素是电密、磁密。电密与通风散热效果、绝缘结构、功率大小、极数多少及工作制有关，选择范围为 2～8A/mm² 比较大；磁密由两部分——气隙及铁芯构成。气隙磁密主要与极数有关，铁芯磁密的选取范围主要与硅钢片的导磁性能有关，但两者波动范围均不大。

因磁密的选取范围较小，可按照两个基本公式确定绕组数据。

（1）每极磁通 $\Phi=K_EU_{N\phi}/(2.22fN_{\phi1}K_{dp1})$（Wb）

（2）磁密 $B=\Phi/A$（T）

式中 K_E——压降系数，它与极数、功率有关，见表 2-7；极数相同时，功率大，取大值；

$U_{N\phi}$——额定相电压，V；

f——电源频率，Hz；

$N_{\phi1}$——每相串联导体数；

K_{dp1}——定子绕组的绕组系数；

A——每极磁通通过路径（见图 2-3）的截面积，m²。

表 2-7 不同极数的 K_E 值

极数	2	4	6	8	10	12
K_E	0.95～0.97	0.94～0.95	0.93～0.94	0.92～0.93	0.91～0.92	0.90～0.91

其中 K_{dp1}，当绕组的短距系数 $\beta\approx0.8$（见第一章第七节），极数≥4 时 K_{dp1} 可近似按表 2-8 选取。

表 2-8　极数≥4 时的 K_{dp1} 值

极数	4	6	8	10	12
K_{dp1}	0.925	0.925	0.902	0.902	0.951

对于 2 极电机，为嵌线方便，跨距不能选得过大，故其 K_{dp1} 随 β 值的选取见表 2-9。

表 2-9　2 极的 K_{dp1} 值

β	0.54	0.58	0.625	0.67	0.71
K_{dp1}	0.406	0.46	0.52	0.58	0.637

由磁通表达式可以看出：对于基本参数已确定的电机，$\Phi\propto U_{N\phi}/N_{\phi1}$，即 Φ 与电压成正比，与匝数成反比。

电机在电磁部分修理时，遇到的情况有三种：

① 绕组不变动，改电压；

② 绕组不变动，改极数；

③ 换绕组，改电压或电压、极数同时改。

在①、②两种情况下，气隙磁密 B_g 必须在合适的范围内。B_g 值的选取范围参见表 2-10。

表 2-10　B_g 值的选取范围

极数	2 极	≥4 极封闭式电机	≥4 极开启式电机
B_g/T	0.55～0.65	0.65～0.75	0.75～0.85

铁芯部分磁密在 1.2～1.65T 范围内选取。但平行槽时齿部磁密不宜过高（第二节）；轭部磁密，对于低转速电机应顾及铁芯刚度，也不宜过高（见第二节）。

有了上述制约条件，可以按第二个公式 $B=\Phi/A$，求得 B 值。

① 气隙面积

$$A_g=\tau l_{ef}\ (m^2)$$

式中　τ——极距，$\tau=\pi\times$定子铁芯内径/极数，m；

l_{ef}——铁芯有效长，m。

无径向通风道时

$$l_{ef}=\text{铁芯长}+2\times\text{气隙长}\ (\text{m})$$

有径向通风道（定、转子通风道对齐）时

$$l_{ef}=l(\text{铁芯总长})-n_{v1}b'_{v1}\ (\text{m})$$

式中　n_{v1}——径向通风道数；

b'_{v1}——径向通风道损失宽度，见表 2-11。

表 2-11　不同气隙的 b'_{v1}　　mm

气隙 g	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5
b'_{v1}	8.1	7.4	6.8	6.3	5.8	5.5	5.1	4.75	4.5	4.25

气隙磁密

$$B_g\approx1.57\Phi/A_g\ (\text{T})$$

② 齿部磁密

$$B_t\approx1.57\Phi/A_t$$

式中，A_t 为每极下齿部的总截面面积。求定子 B_{t1} 时用定子 A_{t1} 代入；求转子 B_{t2} 时用转子 A_{t2} 代入。

$$A_t=b_t l_{ef} Z_p\ (\text{m}^2)$$

式中，b_t 为定子或转子齿宽，当定、转子槽为平行槽时，b_t 为距齿部最小宽度 1/3 齿高处的宽度；Z_p 为每极所包含的定子或转子的槽数，Z_p＝定子或转子槽数/极数。

$$B_j=\Phi/(2A_j)\ (\text{T})$$

$$A_j=h'_j l_{ef}\ (\text{m}^2)$$

式中，h'_j为定子或转子轭部计算高度。

圆底槽时

$$h'_j=\text{轭部高度}+\frac{R}{3}\ (\text{m})$$

式中，R 为圆底槽半径。

平底槽时

$$h_j' = \text{轭部高度} \ (\text{m})$$

定子

$$h_{j1}' = (D_1 - D_{i1})/2 - h_s \ (\text{m})$$

式中　D_1——定子铁芯外径，m；

D_{i1}——定子铁芯内径，m；

h_s——定子槽高度，m。

若算得的 B 值（一般用 B_g 值判定即可）不在表 2-10 的范围内，或者偏离表 2-10 推荐的范围较多，则按 $\Phi \propto U_{N\phi}/N_{\phi 1}$ 的关系式，修正 $N_{\phi 1}$。

在修正 $N_{\phi 1}$ 时，必然要与定子绕组电密 J_1 发生关系。J_1 小，浪费导线；J_1 大，温升高。制约 J_1 的因素较多，故其选择的范围也较大。

通风散热状况好，如 IP23 或带有空/水热交换器，或采用“水夹克”（用循环水冷却机座）的电机，J_1 可以选得大些；低压电机可在 2.5～7.5A/mm² 左右选；高压 6kV 可在 3～5.5A/mm² 左右选；10kV 可在 2.5～4.5A/mm² 左右选。

当绝缘结构有利于散热，如绝缘较薄的低压电机，或采用少胶带 VPI 工艺的高压电机时，J_1 值可以大些。

在同样的绝缘结构下，小功率的 J_1 又可以选得高些。

因通风效果的原因，2、4 极电机的 J_1 可以比极数多的略大些。

在常用的 Y 系列高、低压电机，J_1 的范围参见表 2-12。

表 2-12　不同类型电机的 J_1 值　　A/mm²

产品	YB、Y 低压 IP44	Y 低压 IP23	YB、YKK 6kV	Y、IP23 6kV	YB、YKK 10kV	Y、IP23 10kV
J_1	2.5～6.5	5～7.5	3～4.5	4～5.5	2.5～3.5	3.5～4.5

注：1. YB 高压电机为带内循环通风结构。

2. 增安型防爆电机 YA 在电磁上与 Y 基本相同，且有 IP23 的结构，故将 Y、YKK 纳入。

以上给出的 B_g、J_1 值仅供参考，特别是 J_1 值，不同生产厂家，由于工艺水平不同，按同一套图纸生产，其温升值的差异有时也很大。因此，先进的厂家，J_1 值自然可以超越表 2-12 给出的范围。

总之，不论检修何种电机，只要铁芯尺寸、电机的电压、频率给定后，因 B_g 值基本上被限定在某一范围（见表 2-10）内，可由铁芯尺寸估算出 Φ，再由已知的 Φ、$U_{\phi1}$ 求出 $N_{\phi1}$，再按不同的电机结构，由 J_1 求出定子绕组的线规。也可以用已知的 $N_{\phi1}$ 核算 B_g 值，再修正 $N_{\phi1}$

$$N_{\phi1}=N_{s1}Z_1/(m_1a_1)$$

式中 N_{s1}——定子每槽导体数；

Z_1——定子槽数；

m_1——相数，一般为 3；

a_1——定子绕组并联路数。

2-19 更换绕组要注意哪些问题?

更换绕组要注意的问题如下。

① 绝缘规范要与电压等级相符。

② 线圈匝数要保证 B 值在限定的范围内。

③ 导线截面积要保证 J_1 在合适的范围内。

④ 采用双层短节距绕组时，应使 $\beta\approx0.8$。

⑤ 成型绕组端部线圈间应有足够的通风散热空隙。为此，喇叭口应尽量大，端部（f_d）不宜过小。

⑥ 采用多层槽绝缘时，薄膜不要靠铁芯。

⑦ 在需要提高匝间绝缘强度时，宜采用亚胺薄膜半叠包（或聚酯漆包）双玻璃丝包的绝缘导线，双边绝缘厚度≈0.5mm。

⑧ 采用双绕组或三绕组的多速电机，在设计每套绕组接法时，应使非运行绕组不产生环流，以免干扰正常的工作绕组。

⑨ 温升、噪声不能超标。

⑩ 轴承部位的拆装应参照第三章、第七章内容，保证质量。

2-20　改电压要注意哪些问题?

(1) 不拆出绕组改电压

绕组不动改电压，只限于将原来电压改低。改低的办法是使 $U_{N\phi}/N_{\phi1}$ 保持不变或变动范围很小，以使 Φ、B 在允许的范围内变化。若原设计的 B 值有较大的裕度，则 $N_{\phi1}$ 变动的范围就可以稍大一点。

为使 $U_{N\phi}/N_{\phi1}$ 保持基本不变，要降低 $U_{N\phi}$，显然要减少 $N_{\phi1}$。减少的比例要与 $U_{N\phi}$ 相当，这可由改变并联路数 a 实现；也可由改变接法使 $U_{N\phi}/N_{\phi1}$ 不变。

① 改变并联路数 a

a. 在三相绕组完全对称状况下改变电压

如将 6kV、1Y 接的电机改为 3kV 时，将 1Y 改为 2Y 即可。因 2 路时每相串联的导体数也随之减半，使 Φ 保持不变。

b. 在三相绕组基本对称状况下改变电压

如将 4 极、定子为 72 槽、1Y 接法的 3kV 电机改为 380V。此时电压要降低 3000/380＝7.89≈8 倍，必须将 4 极电机最多只能接 4 路的传统打破，将端部接线打开，强行接成 8 路，使 $N_{\phi1}=N_{\phi1}/8$（原 3kV 时），以保持 Φ 值基本不变。

在改接线时要精心，借助电势星形图，使每相合成电势的幅值尽量相等，三相相角互相之差尽量接近 120°。

② 改变定子绕组接法

如将 10kV 改为 6kV；660V 改为 380V，若改前为 Y 接，将 Y 接改为△接即可。因改前、改后 $U_{N\phi}$ 基本上没变，则 $N_{\phi1}$ 也就不必改动。若改前电机已接成△接，向相反方向改动——由低压改为高压，但引线的绝缘要符合改后的电压 10kV 或 660V。

(2) 绕组拆出来改电压

这通常是将原低压改为高压的情况。这要按给定的铁芯，如上述办法配 $N_{\phi1}$、配导线。注意 B、J_1 值的选取。

改压时要注意电机功率的变化。除将绕组拆出来由原高压改为低压，或者仅仅是 Y 接改△接功率不受影响外，其余改高压

的情况功率都要降低。因为改成高压后，绝缘要加厚，散热差，J_1 要降低，则功率也要减小一点。

2-21 改极数要注意哪些问题？

① 槽配合要适合改后的极数。

② 气隙要适合改后的极数。

③ 将多极改为少极，如 6 极改为 4 极时，若不换绕组，仅改接线时，要核对定、转子轭部磁密，尽量不要高于 1.6～1.65T。因绕组没换，则 K_{dp1} 要降低，有效串联匝数——$N_{\phi1}K_{dp1}$ 要减少，轭部磁密势必要增加。B_g 则因 τ 增大会降低，齿部磁密变化不大。

若少极改多极，轭部磁密要降低，B_g 则要增加，应核算是否在允许的范围内（齿磁密仍变化不大）。

④ 内、外风扇外径的尺寸也要与改后的极数匹配。否则，若 4 极改 2 极，仍用 4 极的风扇，则风摩耗就要成倍地增加。

2-22 换绕组、改电压、改极数实例。

（1）某焦化厂为节电，将供电线路由 6kV 改为 10kV，欲将闲置的 Y400-6、400kW、6kV、IP23 电机改为 10kV，现要重换 10kV 的绕组。

经核算，改后可按 315kW、6 极使用。改动前后的电磁数据见表 2-13。

表 2-13 电压改动前后的电磁数据

项目	功率、极数、电压	导线/mm	匝数	跨距	B_g/T	J_1/(A/mm²)	η	$\cos\varphi$	T_m	T_{st}	I_{st}
改前	400kW、6 极、6kV	2-1.5×3	10	1～12	0.6787	5.58	93.8%	0.859	1.99	1.02	4.79
改后	315kW、6 极、10kV	0.95×5.3	16	1～11	0.7155	4.9	94%	0.815	2.88	1.47	6.57

由表 2-13 可见，改前、改后 J_1 都偏高。所以改后的绝缘工艺宜改为少胶带 VPI 先进工艺，以减薄主绝缘，增加散热效果，

弥补 J_1 偏高。

（2）某货栈要将一台井下用的 1140V、2 极电机，在绕组不变的情况下改为 380V。原电机定子 36 槽，采用 1Y 接法。

因改后铁芯、绕组均不变，Φ、B 也必须基本保持不变，则 $U_{N\phi}/N_{\phi 1}$ 也要基本上保持不变。电压由 1140V 降为 380V，降低 1140/380=3 倍，则 $N_{\phi 1}$ 也应降低 3 倍。$N_{\phi 1}=N_{s1}Z_1/(m_1a_1)$ 公式中 N_{s1}、Z_1、m_1 均不能变，所以只能将 a_1 由 1 变为 3，即将原为 1 路 Y 接的 2 极电机改为 3 路 Y 接。

正常 36 槽 2 极电机的每极每相槽数 q 及槽距角 α 值分别如下

$$q=36/(2\times 3)=6$$

$$\alpha=360°/36=10°$$

改为 3 路后，每极每相只能占 2 个槽，其槽电势星形图见图 2-7。增加路数后，各支路的电势幅值要基本相同；支路间相角差也不要偏大（参考文献［1］建议相角差不大于 3°，幅值差不大于 3%）。

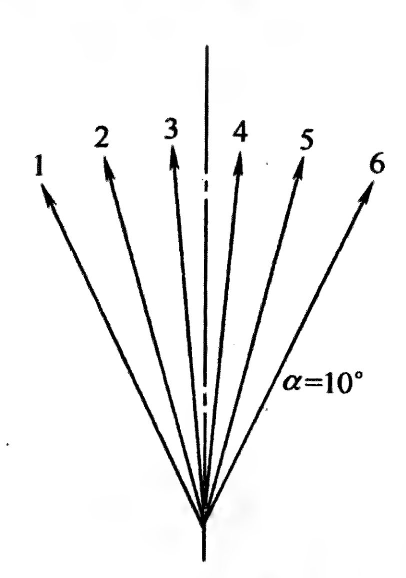


图 2-7　2 极 36 槽 $a=3$ 时
每极每相槽电势星形图

1 路时，1、2、3、4、5、6 共 6 个槽中的导体串联在一起。3 路时，则要将 6 个槽中的导体接成并联的 3 路。为使支路间对称，将 2、5 接成一个支路，1、4 为一支路，3、6 为一支路。

以下校核各支路电势幅值差及相角差：

设1号槽为 y 轴，2、5支路在 y 轴上的电势幅值 $E_{2、5y}=\cos10°+\cos40°=1.7508$；在 x 轴上的幅值 $E_{2、5x}=\sin10°+\sin40°=0.8164$

2、5合成电势 $E_{2、5}$ 与 y 轴的夹角为 $\varphi_{2、5}$

$$\varphi_{2、5}=\arctan(E_{2、5x}/E_{2、5y})=\arctan(0.8164/1.7508)=25°$$

合成电势 $E_{2、5}=E_{2、5y}/\cos\varphi_{2、5}=1.7508/\cos25°=1.9318$

同理 $$E_{1、4y}=\cos0°+\cos30°=1.866$$

$$E_{1、4x}=\sin0°+\sin30°=0.5$$

$$\varphi_{1、4}=\arctan(E_{1、4x}/E_{1、4y})=\arctan(0.5/1.866)=15°$$

合成电势 $E_{1、4}=E_{1、4y}/\cos\varphi_{1、4}=1.866/0.966=1.9318$

$$E_{3、6y}=\cos20°+\cos50°=1.5825$$

$$E_{3、6x}=\sin20°+\sin50°=1.108$$

$$\varphi_{3、6}=\arctan(1.108/1.5825)=35°$$

$$E_{3、6}=E_{3、6y}/\cos\varphi_{3、6}=1.5825/0.819152=1.9318$$

由以上计算可以得出这样结论：

三个支路电势的相角差10°，偏大，但其幅值相同，尽管不太如意，勉强还可以使用。2极电机在槽数少的状况下增加并联支路数，必然要出现支路电势向相角差较大的弊病。

（3）有两台YB450-6、315kW、6kV电机，欲在绕组不变情况下改为355kW 4极使用。

两台电机定子外径均为 ϕ740mm，定子均为72槽，其中：

No. 1定子内径为 ϕ540mm（6、8极冲片通用，内径较大）；No. 2定子内径为 ϕ505mm。

修改的办法相同：将端部接线打开，将6极每极角相线圈数 $q_6=4$ 改接成4极 $q_4=6$。计算结果见表2-14。

由表2-14可见：No. 1电机将6极改为4极，由于 B_{j1} 过高，使 $\cos\varphi=0.7831$（J_1 也因 I_N 过大而偏高），太低；No. 2因4极 B_{j1} 不高，故各项指标均较理想。

（4）某工地欲将一台YB450-6、280kW、6kV电机由6极改为4极，6kV改为10kV，功率在220kW左右。

表 2-14　315kW、355kW 计算结果

电机编号	功率、极数	定子内径/mm	气隙/mm	B_g/T	B_{j1}/T
No. 1	315、6	540	1.2	0.5504	1.5041
No. 1	355、4	540	1.4	0.4586	1.8791
No. 2	315、6	505	1.2	0.5887	1.2088
No. 2	355、4	505	1.4	0.5041	1.288

电机编号	J_1(A/mm²)	η/%	$\cos\varphi$	T_m	T_{st}	I_{st}
No. 1	3.82	94.23	0.8145	1.34	1.53	4.16
No. 1	4.53	92.98	0.7831	1.69	1.4	4.42
No. 2	3.8	94.64	0.8143	1.37	1.61	4.29
No. 2	3.96	94.43	0.8831	1.72	1.49	5.23

该电机因电压由 6kV 升为 10kV，需要将定子绕组拆出来，重新换绕组。重换绕组可以按 4 极选跨距，比较有利。

首先，测绘原电机电磁数据，见表 2-15。

表 2-15　280kW 电机改前、改后数据 J_1

功率、极数	定子外径/mm	定子内径/mm	铁芯长及槽配合	电压/kV	气隙/mm	定子槽形/mm
改前 280kW、6 极	740	505	L=590mm Z_1/Z_2=72/58	6	1.2	65, 11, 3, 3
改后 220kW、4 极				10	1.4	

线规/mm	匝数	跨距	计算结果							
			B_g/T	B_{j1}/T	J_1/(A/mm²)	η/%	$\cos\varphi$	T_m	T_{st}	I_{st}
1.7×6.3	11	1～11	0.5924	1.01	3.13	95	0.828	1.48	1.58	4.58
0.9×4.5	16	1～16	0.465	1.188	3.87	94.3	0.898	2.24	1.85	6.83

对改后的说明如下。

① 电压由 6kV 改为 10kV，匝数应该增加 10/6，即：11×10/6=18。由于原设计磁密不高，故将本应选取的 18 匝改为 16 匝，以增加导线截面积，降低 J_1。

② 改后 I_{st}=6.83，略高，因 220kW 在 10kV 系统中属小功

率，故对使用影响不大。

③ $J_1=3.87\text{A/mm}^2$，略高；改后磁密不高，同时，采用少胶带 VPI 先进工艺，这两项均对降低温升有利，故改后的电机不影响使用。

上述更换绕组、改极数、改电压问题汇总列于表 2-16。

表 2-16 换绕组、改电压、改极数问题汇总

修理项目	换绕组	不换绕组	修改办法	注意事项
改电压		√	改并联路数 1. 按 $a_1 \leqslant 2p$ 常规改接线	
		√	2. 按 $a_1 > 2p$ 非常规改接线	尽量使三相绕组的电势对称
		√	Y、△改接	J_1 要适当降低
	√		提高电压	
改极数		√	改接线	轭部磁密不宜过高；气隙要符合改后的极数；机械耗不能过大
电压、极数同时改	√		重新设计绕组	槽配合、气隙值要合适

因为是“修”，不是“造”，所以修改后的电机除温升、噪声、振动等硬指标必须符合标准；轴承结构等关键部位处理妥善外，各别性能指标，如当 $a_1>2p$ 时，三相绕组电势的对称度可能要稍许偏离正常产品。若出现这种情况，修理部门要根据电机的使用状况、订货周期及节能降耗国策，权衡利弊后作出合理地选择。

第四节 绝缘处理

2-23 电机绝缘由哪几部分构成的?

电机绝缘由股间、匝间、层间、相向、对地及嵌线形成绕组后浸的绝缘漆构成，见图 2-8。

相间、层间、对地三处绝缘如图 2-8 所示。股与匝略加说明

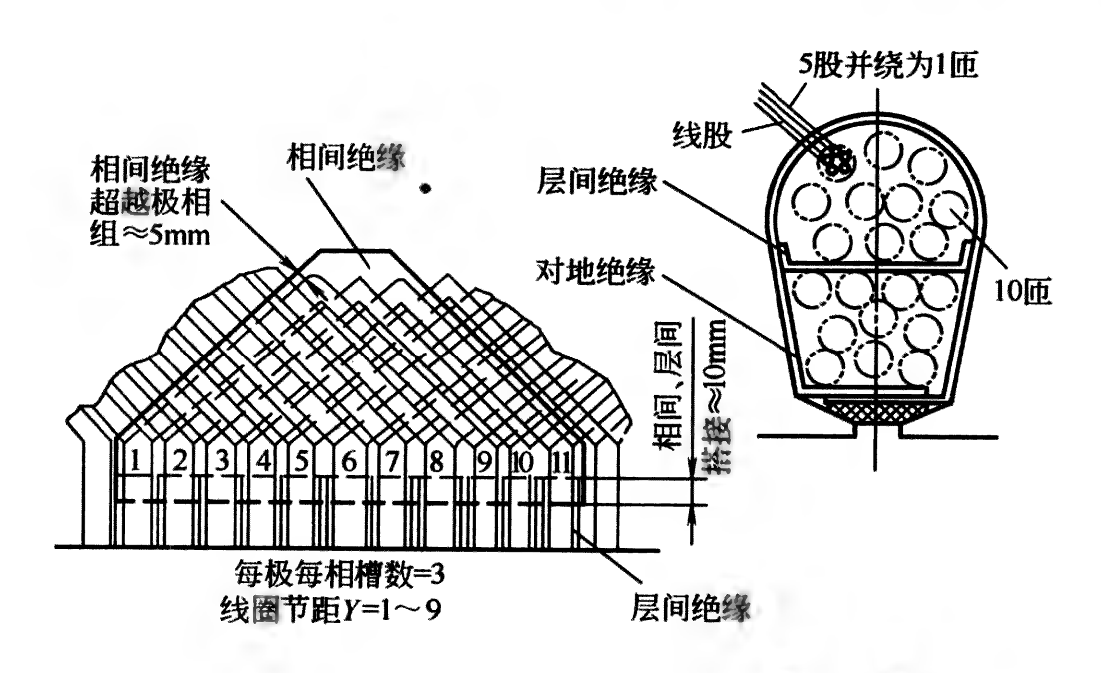


图 2-8　以 YB315L1-8、90kW 电机为例展示绝缘结构

如下。

当功率较大一点，仍选用单根导线时，电密就要高，则要增加根数，即采用多股并绕的办法增加导线截面积，以降低电密。如 YB 系列 90kW、8 极电机则采用 5 根 ϕ1.4 的漆包线并绕。

匝数则由铁芯的尺寸按照磁密的允许范围求得，见本章第二节。

除上列 5 处绝缘外，还有绕组端部及引接线的绝缘，以及高压小功率电机采用“双排串”线圈时的排间绝缘。

2-24　股间绝缘如何选用？

股间绝缘一般由导线自身带的绝缘承担，不另作绝缘处理。如聚酯漆包圆线，即由 0.05～0.08mm 厚（双边）的漆层承担；聚酯漆包双玻璃丝包扁线则由自身带的这个绝缘层承担。

由单根线绕制的线圈，因每股线就是每匝线，则要按“匝”的绝缘处理办法操作。

2-25　匝间绝缘如何选用？

近年来，由于对地绝缘材质及浸漆工艺的改进，绕组对地击

穿的故障逐渐减少，使得匝间的故障率上升。

匝间绝缘的设置与匝间电压、绝缘导线绝缘层的耐压能力及浸漆工艺有关。

目前解决匝间绝缘的简易办法是在导线带的自身绝缘上做文章，即选用绝缘层较为理想的绝缘导线。如聚酯漆包双玻璃丝包或亚胺膜半叠包双玻璃丝包导线均可直接用在 10kV 及以下、2000kW 左右以下的无特殊要求的高、低压电机的定、转子绕组上，而无需另加匝间绝缘。若匝间电压不太高，亦可用聚酯漆包单玻璃丝包线，双边绝缘层厚度仅为 0.3mm 左右。否则，宜选用亚胺膜半叠包双玻璃丝包线，双边绝缘层厚度为 0.5mm 左右。但无论选哪种，外层最好有玻璃丝，它的作用：一是保护内层的漆膜或亚胺膜；二是在浸漆时能挂上较多的漆。若采用热模压工艺，多胶云母带在热模压过程中将挤压出来的漆渗到这层玻璃丝上。上两种，特别是后者，几年来在高压电机上应用效果较好。

若设计者宁可导线绝缘层厚点多占些槽部空间；制造或修理部门也舍得多花点钱购买绝缘层较好的导线；线圈加工、绕组嵌线及浸漆均做到“精心”，采用以上两种导线，不必另加匝间绝缘，可以在很宽的范围内基本上杜绝匝间故障。

匝间试验时，施加的冲击电压峰值见表 7-2。

若某些产品在使用中容易遭受瞬间高压冲击（如雷电），则在满足表 7-2 检验结果的前提下，应考虑另加补强的匝间绝缘。

而在正常运行时，匝间承受的电压＝额定相电压/每相串联的匝数仅能作为选用匝间绝缘时的参考数据，因为首匝承受的电压有时要高于此值，特别是频繁启动及经常正、反转的电机。

补强匝间绝缘的措施是：匝间加垫条（如亚胺薄膜）、隔匝包或逐匝包。

目前隔匝或逐匝包一般采用 0.14×25 的“三合一”的粉云母带。若导线自身绝缘较好，半叠包一层即可。

表 2-17 列出不同匝间绝缘结构所能承受的试验电压（摘自[1]）。

表 2-17　不同匝间绝缘承受的电压值

匝间绝缘结构	每匝承受的试验电压/V
聚酯漆包双玻璃丝包扁线	400～500
双玻璃丝包扁线加垫 0.1 亚胺膜	>500～600
亚胺膜半叠包双玻璃丝包扁线	>1000～1500
双玻璃丝包扁线外层半叠包 0.14×25 三合一粉云母带 1 层	>1600～2400
聚酯漆包双玻璃丝包扁线外层半叠包 1 层 0.14×25 三合一粉云母带	>2400～3000

2-26　排间绝缘如何选用？

对于电压高、功率小、匝数多的电机，采用“双排串”的线圈时，有图 2-9（a）、（b）两种接法。这是一个匝数为 16 的线圈。按图（b）绕制时，第 8 匝与第 9 匝间的电压就比较高，所以这两排之间在认为需要的情况下（如电机在多雷地区使用；或者电机绕组导线的自带的绝缘比较薄弱），就要加“排间绝缘”。因为第 8 匝和第 9 匝间的电压较高。比如 6kV 的线圈，全线圈

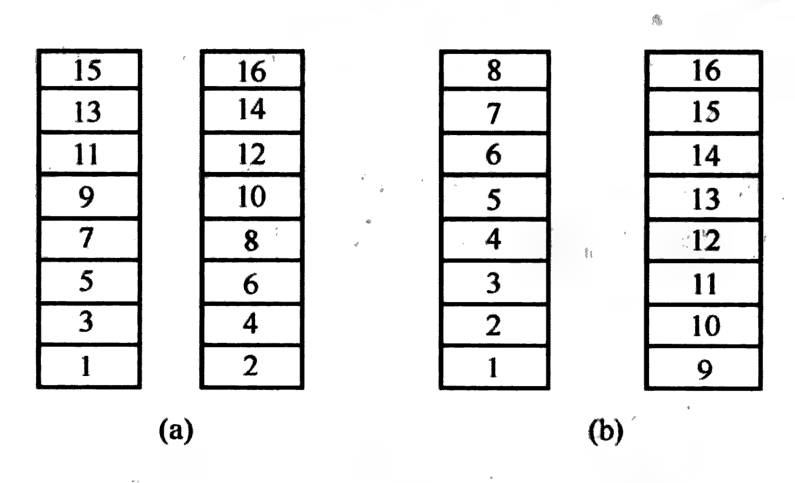


图 2-9　双排串线圈两种绕法示意图
（数字排列代表线匝的绕制顺序）

的试验电压为13000V，匝间电压为13000V/16=812.5V，第8匝的电压是1～8匝的累计的电压值，为812.5V×8=6500V，它与第9匝的匝间电压再按812.5V考虑显然不合适了。因此，应该在两排之间加上排间绝缘。按照电机使用环境及导线自带绝缘的承压能力，可以半叠包0.05mm的亚胺膜或三合一粉云母带，每排包或只包一排（由受压程度而定）。

2-27 相间绝缘如何选用？

对于成型绕组，靠线圈端部包扎的绝缘及线圈间的间隙即可承受相间电压。若线圈间间隙比较均匀，线圈端部间垫块的安放及线圈的绑扎处理得很妥善，对于云母带包扎的线圈，端部包扎的层数为槽部的2/3～1/2即可。比如，若槽部，即线圈的直线部分若半叠包12层，则端部半叠包6～8层即可。

对于散嵌绕组，则要另加相间绝缘。其层数、材质与槽部相当即可。若槽部采用两层，相间宜仍用一层（为了嵌线工人容易操作）时，可按下列办法处理。

① 当槽部绝缘用一层0.2～0.25mm的NMN，加一层0.05～0.1mm的薄膜，若薄膜主要的用途是在槽口处“挽袖”，以加强槽口处绝缘时，相间只用一层0.2～0.25mm的NMN即可。

② 当槽部用两层0.2～0.25mm NMN时，相间可以用一层0.3mm的NMN。

相间绝缘的尺寸，要按绕组端部形状裁剪。裁剪时，其外缘应大出每极相组线圈端部5mm左右；同时，还要与层间绝缘搭接10mm左右。

2-28 层间绝缘如何选用？

当双层绕组采用短节距时，在同一槽内异相的上、下层线圈间要承受电机的额定电压。因此，层间要加层间绝缘。

对于成型绕组，若每个线圈均包主绝缘，则层间绝缘可以取

消。但为了端部线圈间有间隙、嵌线时操作方便，以及填补同一机座号不同规格间线圈的高度差，也要加层间绝缘。通常 F 级绝缘电机用 3240 的环氧玻璃布板。其宽度尺寸＝冲片槽宽－0.5mm；长度≈线圈伸出铁芯的直线部分。

对于散嵌绕组，则要选用与槽部绝缘相同规格的绝缘，但仍用 1 层为妥。其尺寸宽度要比槽的平均宽度大 10mm 左右，以保证上、下层线圈间被可靠地绝缘为度；长度应大于线圈伸出铁芯的直线部分 5mm 左右。

2-29　对地绝缘如何选用？

对地绝缘也称“主绝缘”或“槽绝缘”，它是电机绝缘的核心。电机的质量、成本及温升均与它有直接关系。因此按低压、高压；成型、散嵌；定子、转子分述。

2-30　低压散嵌线定子绕组对地绝缘如何选用？

就绝缘规范而言，1140V 及以下均属于低压范畴。目前低压电机，无论是制造还是检修，95%以上均采用 F 级绝缘。仅在极个别产品，如轧钢用的电机上，因环境温度按 60℃ 考虑，方采用 H 级绝缘。

因 H 级绝缘电机用的轴承很难配套，所以尽量少用 H 级绝缘的电机。若非要用 H 级的，应在轴承处的通风散热上采取措施，或将电机温升控制在 F 级上。

低压、散嵌线 F 级绝缘目前采用对地绝缘材料为：

0.2～0.25mm NMN 聚酯薄膜芳香族聚酰纤维纸复合箔；

0.2～0.35mm DMD 聚酯薄膜聚酯纤维纸复合箔；

0.05mm 聚酰亚胺薄膜（6050）。

H 级绝缘常用的材料为：

0.2～0.25mm NMN 聚酰亚胺薄膜芳香族聚酰胺纤维纸复合箔；

0.05mm 聚酰亚胺薄膜（6050）。

F 级、H 级槽绝缘的尺寸、层数的规律相同，只是材质略有

差异。

散嵌绕组的槽形一般均为梨形槽，为嵌线方便，槽绝缘放入槽内后应露出槽口，嵌线后将高出铁芯部分剪掉，然后放入槽中，见图 2-8。

槽绝缘的长度，按机座号由小到大，每端应长出铁芯 5～20mm。

槽绝缘的层数：

小功率电机，1 层 0.2～0.25mm NMN；功率稍大一点时，在 0.2～0.25mm NMN 的内侧加 1 层 0.05mm 亚胺薄膜。为补强槽口处绝缘强度，将亚胺膜在槽口处“挽袖”。

机座号大于 280V 或 1140V 电机，应选用 2 层 0.2～0.25mm NMN，中间夹 1 层 0.05mm 的亚胺膜，共 3 层。亚胺膜仍“挽袖”。

槽绝缘的层数、厚度除与机座号、电压有关外，还与铁芯质量、槽绝缘材质的质量及导线本身自带绝缘的绝缘强度以及绕组的浸渍漆有关。当后面这四项附加的制约因素都很理想时，槽绝缘就可以薄点，否则就要厚些。因此，槽绝缘的层数没有明显的界定范围。

2-31 低压散嵌线转子绕组对地绝缘如何选用？

选用的规律同定子。稍有不同的是转子电压随定、转子绕组匝数比不同而在某一范围内变化。转子电压与转子电流的乘积，对于某一特定的规格基本上是一个变化很小的数值。若有的使用部门要求转子电流要小，则转子电压势必要高。此时，在选用槽绝缘上应予适当地考虑。

2-32 低压定子成型绕组对地绝缘如何选用？

（1）半开口槽分爿嵌线绕组

为了提高 cosφ，采用半开口槽。因此，要将一个线圈边一分为二，即分成左、右两半，称为“分爿式”线圈，见图 2-10。两个分爿式线圈在端部将对应的各匝并联在一起，构成线圈的上

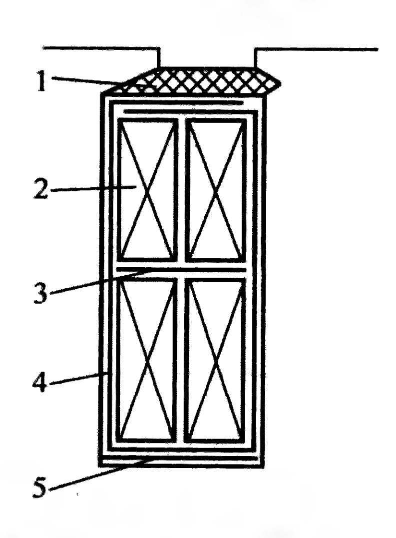


图 2-10　半开口槽分爿式
绕组绝缘结构
1—槽楔；2—分爿式线圈；
3—层间绝缘；4—槽绝缘；
5—槽底垫条

层边及下层边。

槽绝缘 4 可采用 2 层 0.2～0.25mm 的 NMN。槽绝缘厚度的取舍规律同散嵌线，即理想状况下，可采用 2 层 0.2mm NMN；否则，要采用 2 层 0.25mm NMN，甚至 2 层中间还要加 1 层 0.05mm 的亚胺膜。层间绝缘采用 1.0mm 的环氧玻璃布板。

(2) 开口槽成型绕组

与半开口槽相比，cosφ 较低，但嵌线方便。当采用磁性槽楔后，cosφ 也会在很大程度上得到弥补。

主绝缘、层间绝缘与 (1) 同。

2-33　高、低压转子成型绕组对地绝缘如何选用？

成型绕组转子的绝缘规范按转子电压选，参考表 2-18。成型绕组的线圈通常由裸铜排按波绕组绕制。裸铜排先半叠包 1 层 0.05mm 的亚胺薄膜 (6050)，然后再按表 2-18 包槽部、端部。

为保护三合一云母带，端部的外层再包 1 层 0.1mm×20mm 的玻璃丝带。

表 2-18 转子绕组绝缘规范

转子电压/V	槽部卷包 0.17mm 有机硅云母箔(G844-1)	端部半叠包 0.14mm×25mm 三合一云母带(G446-1)
<600	3 层	2 层
600～1000	4 层	3 层
>1000	5 层	4 层

若转子铁芯的质量不十分理想，槽内不太整齐，嵌线时，槽内最好加 1 层 0.2～0.25mm 的 NMN 作为补强的槽绝缘。因此，当加补强的槽绝缘后，转子电压<600V 时，主绝缘的单边厚度≈0.8mm；转子电压＝600～1000V 时，主绝缘的单边厚度≈0.95mm；转子电压>1000V 时，主绝缘的单边厚度≈1.1mm。

2-34 高压定子成型绕组对地绝缘如何选用？

目前国内高压电机定子成型绕组的绝缘工艺有"VPI"、"热模压"两种。

(1) VPI 工艺

VPI 的含义是真空、加压、整体浸渍的英文缩写。自 20 世纪 70 年代末引入国内已有 30 年的应用史。因其绝缘强度、机械强度及耐潮、耐腐蚀性能均好，导热性好，又有助于降低电机温升，故被广泛地用于高压电机及中型低压电机定、转子绕组的浸渍工艺上。

在应用中，不同厂家有不同的经验及各自习惯的操作方法。但在包扎层数及单边绝缘厚度的控制上，彼此相差不大。以采用 0.14mm×25mm 的 5438-1 环氧粉云母带为例：

3kV，半叠包 6～8 层，单边绝缘层厚度约 1.3～1.5mm；

6kV，半叠包 9～11 层，单边绝缘层厚度约 1.8～2.0mm；

10kV，半叠包 12～14 层，单边绝缘层厚度约 2.8～3.0mm。

嵌线时，原佳木斯电机厂习惯加 1 层 0.1mm 的 NMN 作为槽绝缘（此时主绝缘云母带的包扎层数也因此而适当地减少）；南阳防爆电机厂习惯在嵌线时用 0.1mm 的聚酯薄膜作"替纸"，

线圈嵌入槽中后再抽出来，给下一个槽用。

但最大的区别还在选用的云母带的含胶量，以及由此而导致的单边主绝缘层的厚度上。有的厂家采用 5449 云母带（含胶量为 28%～32%）或 5444 云母带（含胶量为 17%～23%），或 5438-1 云母带，它们都属于“中胶带”。其 3kV、6kV、10kV 时包扎层数及单边绝缘层厚度如上述。

还有的采用 5442-1 或 5446 云母带（含胶量为 5%～11%），它们被称为“少胶带”。采用少胶带时，包扎的云母带层数可以减少，大约是中胶带的 75%即可。因此，单边绝缘层厚度也就减薄了，绝缘强度并没减弱，应该说少胶带 VPI 是发展方向。

如以 6kV 为例，中胶带包 9～11 层时单边绝缘层厚度约为 1.8～2.0mm；少胶带，包 6～8 层即可，单边厚度仅为 1.3～1.5mm。

（2）热模压工艺

热模压属于传统的方式绝缘工艺，采用含胶量＞40%的 5440-1“多胶带”。包扎层数及模压后单边绝缘层的厚度与“中胶带”VPI 工艺的差不多。

成型绕组的包扎层数、单边绝缘层的厚度均是一个波动值。其原因与低压散嵌绕组相同——包扎层数及由此而形成的厚度，与电压等级、功率及导线自带绝缘的绝缘强度有关外，还与铁芯、绝缘材料及浸渍漆的质量有关。

在同样额定电压下，不同国家、公司对地绝缘单边厚度之差也主要缘于此，见表 2-19。其中，德国西门子公司的尺寸，经实地考察，比较先进且符合德国实际的制造水平，又经过了多年的使用考验。若本国的制造或修理厂家在铁芯、绝缘材料的质量与先进国家相当，尤其是在采用少胶带 VPI 工艺时，则德国的数据大有参考价值。

2-35 成型绕组的槽底垫条如何选用？

槽底垫条的作用是保护下层线圈在嵌线时不致因张力而受到损伤，尤其在槽口部位，因此槽底垫条要长出铁芯。若压圈内径

表 2-19 采用云母带绕包时单边对地绝缘厚度 mm

单边对地绝缘厚度 / 厂家 / 额定电压/kV	美国西屋	德国西门子	瑞士 BBC	中国
3	1.575	0.95	1.0	1.3
6	2.31	1.5	1.7	1.8
10	2.65	2.1	3.4(13kV)	3.0

距槽底的距离很小，则垫条最好超越压圈。否则，每侧长出铁芯10～15mm 即可。该垫条一般采用 0.5mm 厚的环氧玻璃布板（H 级绝缘用硅有机环氧玻璃布板），宽度比槽窄 0.3～0.5mm。若长出铁芯较多，在内部循环通风的气流的吹拂下要产生振动。

2-36 成型绕组槽楔如何选用？

20 世纪 70 年代以前，国内高压电机的绕组均采用热模压工艺，加之浸渍漆的固化性能也远不如目前采用的环氧无溶剂漆，因此，槽楔很厚，镶入铁芯的尺寸也比较深，对电磁性能影响较大。若采用 VPI 工艺，槽楔厚度 2mm，每侧镶入铁芯 1.5～2.0mm 即可。

槽楔材质：F 级用 3240 环氧玻璃布板；H 级绝缘用硅有机环氧玻璃布板。

2-37 端部连接线绝缘怎样处理？

（1）低压电机

① 散嵌绕组　端部连接线焊好后套上醇酸玻璃管，或者在接头处先用 0.15mm 的醇酸玻璃漆布包扎后再套上醇酸玻璃管。管的搭接部分应尽量长，以保证裸导线部分被可靠地绝缘。

② 成型绕组　焊好连接线后先用 0.14mm×25mm 的桐马粉云母带半叠包 1～2 层，然后再半叠包 1 层 0.1mm×25mm 的涤纶带或玻璃丝带。

①与②在端部连接线的绝缘处理，与电压、电机功率及端部

空间状况有关。上述的包扎办法仅对正常状况而言，若多极电机端部径向空间很小，连接线几乎与机座挨上，包扎的云母带就得2层。反之，功率很小、电压又低，焊后套上玻璃管即可。

（2）高压电机

高压电机端部连接线焊好后，先半叠包0.14mm×25mm的桐马粉云母带，然后外层再半叠包1层0.1mm×25mm的涤纶带或玻璃丝带。云母带的层数为：3层（3kV）、5层（6kV）及7层（10kV）。层数的多少也有与上述低压电机相似的情况及处理对策。

对于绕线转子，端部连接线除绝缘处理外，还有个牢固绑扎的问题。目前国内采用的办法是浸漆前用无纬玻璃丝带绑扎。

2-38　电缆引出线处绝缘如何处理？

电缆引出线与电机端部接好线后的引出线之间焊好后的绝缘处理与端部连接线的处理办法相同。如高压电机，电缆线与端部引出线焊好后，对于3kV、6kV、10kV分别半叠包0.14mm×25mm的桐马粉云母带3、5、7层，外面再半叠包1层涤纶带或玻璃丝带。

值得注意的是：电缆线在与接线端子连接之前应被固定（通常是在机座上用线夹夹牢）；并且不能与机座或接线盒处的金属部分相接触。特别是在电缆被拉紧的状况下与金属棱角部分相接触，当运行时电缆发热，使接触点呈凹陷状，极易破压。遇有这种情况，可采取以下措施：将棱角处磨平；电缆外面套上1层绝缘保护管，或者在电缆引出的路径上用橡胶圈将金属部分罩上（南阳防爆电机厂采用的办法）。

电缆的规格用其芯线的截面积代表。选用的办法是按照它承受的电流密度 $J=\frac{\text{电机额定电流}}{\text{每相芯线截面积}}$（$A/mm^2$）。$J$ 可在 $2\sim6A/mm^2$ 范围内选。电压高、功率大、散热状况差又连续运行（工作制为 S_1）时选小值；反之，可以选大值。

2-39 集电环处绝缘如何处理？

目前高、低压绕线型电机的集电环均用绝缘压塑料与金属环压成一整体，成一自带绝缘的标准部件。制造厂或修理部门将它购入后，需要做处理是与集电环相连的接线片与转子引出线焊接后的绝缘。按转子电压的高低，将裸露的导电部分先半叠包2～4层0.05mm厚的聚酰亚胺薄膜，外层再半叠包1层0.1mm厚的玻璃丝带。包扎绑牢后，若不再浸漆，则应涂上快干漆。

2-40 浸渍漆及典型的浸烘工艺如何选用？

浸漆在电机绝缘处理中占有很重要的一席之地，特别是采用VPI的绝缘工艺。

20年前，低压电机浸1032漆，因其固体含量低，一般要浸2～3次。目前，固体含量高的无溶剂漆已广泛采用，若采用VPI工艺，浸一次即可。如果漆的固体含量低，且采用浇注或沉浸的常压浸漆工艺，可以考虑浸两次。

① 低压F级绝缘常压下浸渍采用较多的漆有EIU-F、9101-1、9550-1无溶剂漆。低压H级绝缘采用9111漆。它们在常压下浸烘温度、时间见表2-20。

表 2-20 几种代表性浸渍漆的浸烘

工序	9111(H级漆).		EIU-F无溶剂漆(F级)		9101无溶剂漆(F级)	
	温度/℃	时间	温度/℃	时间	温度/℃	时间
预热	130±5	6h	130	6h	120	4～6h
浸第一次	50～70	>15min	60～70	>30min	30～40	>30min
滴漆	室温	>30min	室温	1h	室温	>30min
第一次烘干	130±5	4h	140	8h	150±5	4h
浸第二次	50～70	>10min	60～70	>20min	30～40	25min
滴漆	室温	>30min	室温	1h	室温	>30min
第二次烘干	150±5	12h	150±5	12h	150±5	10～12h

② 高压电机目前国内多采用 F 级绝缘 VPI 工艺。其浸渍漆用得较多的是 9950、9544K 及 9101 环氧无溶剂漆。以 9950 为例，其浸烘温度、时间见表 2-21。

表 2-21　9950 环氧无溶剂漆浸烘

工序	温度/℃	时间	备　注
预热	100	2h	
抽真空		1h	真空度 50～80Pa（约合 0.4～0.6mmHg 柱）
输漆、加压	60～70	4h	0.6～0.7MPa
回漆		0.2h	
烘干	155	15～17h	

若低压电机采用 VPI 工艺，可参照表 2-21 进行，只是绝缘较薄，每道工序的时间可以略短而已。

当高压电机采用热模压工艺时，端部则需要浸漆（通常槽部也随端部一起浸）。其浸烘温度、时间可参照表 2-20。但因绝缘层较厚，浸、滴、烘的时间应比低压电机略长。一般只浸一次。若漆的黏度较低，可以考虑浸两次。

2-41　嵌线间隙如何确定?

（1）散嵌绕组

散嵌绕组的嵌线间隙用槽满率 S_f 显示

$$S_f = 槽内导线占据的面积/槽有效面积$$

$$槽内导线占据的面积=(带绝缘导线的外径)^2 \times 槽内导体总数$$

槽有效面积＝冲片上槽形面积－槽绝缘占据的面积－层间绝缘占据面积（单层绕组无此项）－槽楔、槽口部分占据的面积

按设计程序，$S_f=78\%$。但以下几种情况可供检修时参考。

① 当铁芯质量好，即槽内很整齐；导线较细、线圈跨距小、槽绝缘比较柔软；又是双层绕组时，S_f 可以选定在 82%～84% 上。反之，应使 $S_f<76\%\sim77\%$。

② 绕线转子的槽满率不宜过高。有利因素（见①）都具备

时，可使 $S_f \approx 80\%$；否则，应使 $S_f < 75\% \sim 76\%$。

③ 若绕组浸渍无溶剂漆，槽楔采用围成V形、0.5mm厚的硬纸板即可。节余下来的槽面积，可用于降低磁密、提高 $\cos\varphi$ 上。

(2) 成型绕组

① 定子

a. 模压线圈　嵌线间隙，即冲片槽形与线圈间间隙，应选定在0.6mm左右。因冲片叠成定子铁芯后，槽形还要减小0.3mm左右。则实际嵌线间隙仅为0.3mm左右。

b. VPI白坯线圈　对于高压线圈，可以不留嵌线间隙，靠白坯线圈自身的压缩量就可以作为嵌线“间隙”。

对于低压线圈，若采用卷包绝缘，可留0.6mm左右的间隙；绕包线圈，若嵌线时有槽绝缘或槽衬、替纸，则此“间隙”0.2mm左右即可。

② 转子　目前国内高压绕线转子电机的转子线圈均采用卷包绝缘。因铜排较硬，在有槽绝缘、槽衬的情况下，嵌线间隙应选在0.5～0.8mm上。

高度方向，转子槽楔的厚度一般不小于4mm。扣除槽绝缘、层间绝缘、槽底垫条后，也应留有0.5～0.8mm的间隙。

与散嵌线圈类似：当铁芯质量好、铁芯比较短时，嵌线间隙可以小点；反之，就大些。

2-42　高压电机何时需要防电晕处理？

对于采用热模压工艺，6kV及以上的增安型电机及高原地带使用的电机以及额定电压≥10kV的普通电机的定子绕组要进行防电晕处理。

2-43　怎样进行防电晕处理？

线圈直线部分平包1层0.12mm×25mm SDZ-F低阻带，端部平包1层0.14mm×25mm SDGP-F高阻带。也可以将直线部刷1～2次防晕的低阻漆，端部刷1～2次高阻漆。高阻漆应出铁

芯 50mm，高阻漆与低阻漆应重合 25mm。

包扎或涂覆均在线圈的最外层。为保护防电晕带，外层还应平包 1 层 0.1mm 厚的玻璃丝带。

防电晕的目的是使线圈周围电场均匀，以免产生游离放电使绝缘腐蚀、老化。因此，在必要的情况下，可以在线圈包防电晕层的同时，将槽部及有关部位（如裸露的靠近线圈的金属尖角处）再刷 1～2 层低阻漆（槽部）、高阻漆。

选用的低阻带、高阻带、低阻漆、高阻漆要与定子浸渍漆相溶。

第五节　绕组修理

2-44　绕组上的污垢有何危害？

绕组上的污垢危害如下。

① 当附着绕组表面的污垢形成硬壳后，在热胀冷缩的变化下，容易使绕组的绝缘漆膜、漆层也随之产生裂缝，易造成匝间、相间及对地的绝缘击穿。

② 粉尘的机械、化学作用，会侵蚀绕组绝缘，易破坏绝缘层。

③ 运行中，绕组端部要产生电磁力，特别是经常启动的电机。若线匝间夹杂粉尘颗粒，极易发生匝间短路。

④ 会使电机介质损耗角正切增大，泄漏电流增加，也容易造成爬电短路。

⑤ 影响散热。

2-45　怎样清理绕组表面的污垢？

清理的办法有清扫、洗涤两种。

（1）清扫

① 用毛刷刷去表面灰尘，或用布条穿入线圈缝隙间往复拉动布条，将灰尘擦掉。

② 对油污和灰尘所形成的硬壳，可用木刮板铲除。

③ 附着的灰尘、污垢清理后，用压缩空气吹拂干净。吹拂时要先里后外，且应注意不要将最后吹拂的灰尘重新落到先前已吹过的部位上。

④ 若有因粉尘使电机绝缘电阻降低时，应逐个部位地清理、测试绝缘电阻，直到绝缘电阻合格为止。

⑤ 吹净脏物后，再用干净的抹布蘸上汽油或混合剂（按 4：6 质量比配制的 200 号汽油和二氯甲烷的混合剂）擦拭一遍。若仍残余纤维、尘粒，再用 0.2MPa 左右的压缩空气吹拂一次，重点吹拂“死角”处，如绕组间缝隙、端部过桥线等处。

⑥ 烘干、吹干或在干燥处自干。

（2）洗涤

洗涤剂由 1.5%～2% 的普通中性洗衣粉加 98.5%～98%（质量比）的清水搅匀而成。用离心式清水泵将配好的洗涤剂冲洗电机绕组，水压在 0.2～0.3MPa 即可。清洗后将绕组烘干。

2-46 低压绕组如何检修?

（1）绕组绝缘不良的检修

绕组绝缘不良是由污垢、潮湿引起的，将绕组去垢、清洗、烘干即可。

（2）绕组接地故障的修理

绕组接地故障多发生在槽口处及局部过热使绝缘过早地老化之处。

① 槽口处接地故障的修理　接地现象有“虚接”、“实接”两种。前者可通过升高电压将虚接处击穿产生火花查找出来，后者可根据烧焦的痕迹找出。

查到接地部位后，将线圈加热到 130℃左右，使绝缘软化，然后用木板撬开接地处绝缘，将接地或烧焦的部分清理干净，垫入新绝缘，然后涂上环氧胶烘干。

② 槽部接地故障修理　剔出槽楔后，将线圈加热至 130℃左右。若上层线圈处接地，把线圈拉出槽外，将接地处绝缘更新后，使线圈复位，打入槽楔。若下层线圈对地击穿，可采用局部

换线法或穿线修复法。

(3) 绕组短路故障修理

绕组短路有相间、匝间短路两种情况，产生原因见表 2-2。不同位置处理的办法也略有差异。

① 线圈端部极相组间短路故障的修理　将线圈加热，软化绝缘，用木板撬开极相组之间的线圈，重新垫入相间绝缘。若导线局部破损，可用 0.05mm 的亚胺膜包扎好，然后将端部重新涂漆整形、烘干。

② 绕组端部连接线或过桥线损伤引起的短路故障的修理　若连接线处短路，用木板撬开连线处，换上新套管或重新包好绝缘；若故障出现在过桥线处，则应将线圈加热软化，撬开过桥线处，增垫绝缘。

两处故障修复后均应涂漆、烘干。

③ 绕组端部匝间短路的修理　故障产生原因见表 2-2。修理时，将匝间短路的那一相的线圈通单相低压电，将交流电压表接在短路线圈的两端，轻轻撬动短路线圈各匝，当电压表指针突然上升到正常值时，表明此短路点已被隔开，用 0.05mm 的亚胺薄膜将故障点包扎好，涂上漆，将端部线圈复位、烘干。

④ 双层绕组层间短路的修理　剔出槽楔，将绕组加热，从槽内将上层线圈拉出。若直观可以看到故障点，则用亚胺膜包好线匝、涂上漆，更换层间绝缘，打入槽楔，烘干即可。若难以查到故障点，可用文献［1］介绍的简易装置找出故障点。

(4) 绕组断路故障的修理

故障引起的原因见表 2-2。

① 引线和过桥线的开焊修理　将脱焊处清理干净，在待焊处附近的线圈上铺垫一层绝缘纸，防止焊锡流入，然后对脱焊处补焊，之后进行绝缘处理。

② 线圈端部烧断的修理　将线圈加热至 130℃左右，使绝缘软化，然后撬起烧断的线匝，用同规格的导线焊在断线处。焊后，包好绝缘、涂漆、烘干。

③ 槽内导线烧断故障的修理　与前述处理接地或短路的办

法相仿，剔出槽楔，先加热线圈，软化绝缘，然后起出烧断的线圈，将烧断的线圈由端部剪掉，使焊点移到端部。用同规格的导线焊好，包好绝缘。若槽绝缘损坏，再更换新的。将线圈嵌入槽内，修补处刷上绝缘漆，打入槽楔，端部处理妥善后，烘干。

2-47 高压绕组如何检修?

(1) 采用环氧胶局部修复

环氧胶配方（质量分数）：

6101 号环氧树脂 50%；

650 号固化剂 50%；

填充剂（云母粉或玻璃丝绒适量）；

稀释剂：丙酮与酒精，各为树脂的 50%，两者比例为 1∶1。

按比例在室温下搅拌均匀，调成糊状。

① 用环氧胶修理端部线圈匝间短路

a. 清理短路处，使导体露出，将损伤处的绝缘与完好的绝缘层交接处削成坡口。

b. 切除烧损的导线，补焊上同规格的导线，修平焊口，重包匝间绝缘。

c. 清理残留在线圈上的绝缘碎片和毛刺，测其直流电阻值。

d. 合格后，涂环氧胶，达到原来绝缘层厚度，作为对地绝缘。涂敷时应防止杂质和导电粉粘在绝缘上。

e. 修补后，在室温下自然固化 8～12h。

② 用环氧胶修理引线处击穿故障

a. 清理故障处污垢。

b. 清理烧焦部分的绝缘，使其露出新绝缘表面，削出坡口，用蘸有酒精的白布擦干净。

c. 将烧断的引线头补焊好，包好绝缘。

d. 将修理部位涂一层环氧胶。

e. 在室温下固化 8～12h，再将绝缘表面喷两遍风干灰瓷漆。

f. 若线圈绝缘表面覆盖漆已老化剥落，可用中性洗涤剂洗净，烘干后再重涂表面漆或浸两遍 1038 号绝缘漆。

（2）采用自黏性硅橡胶三角带局部更换定子线圈

① 查出故障线圈后，将该线圈及与其相关的一个节距内线圈的槽楔剔出。

② 加热线圈，起出故障线圈的上层边及一个节距内线圈的上层边。最后将故障线圈的下层边由槽内起出。

③ 找出故障点，清理后将绝缘削成坡口。

④ 进一步检查匝间绝缘和导线有无损伤之处。若有损伤的导线，用同规格导线补焊后、修平后半叠包 0.05mm 的亚胺膜 1 层。必要时，外面再半叠包 1 层三合一的云母带。若附近线圈仍有匝间绝缘损坏时，也采用同样办法处理。

⑤ 包好匝间绝缘后，为提高黏结性，可先刷 1 层黏合剂，然后再包主绝缘，黏合剂为浓度 10%的 A151 乙烯三乙氧基硅烷，溶剂为甲苯。

⑥ 用自黏性硅橡胶三角带包绕线圈，包至原始厚度，最外层再包 1 层自黏性硅橡胶玻璃丝带作为保护层。

⑦ 清理槽内，垫好绝缘，将故障线圈及邻近线圈嵌入槽内，打入槽楔。硅橡胶机械强度差，操作时注意。

⑧ 绑扎线圈端部，涂上环氧胶。

（3）绕组断路的故障修理

① 将线圈加热至 80～90℃，取出故障线圈。

② 将导线断开的两端剥去。

③ 将断开处清理干净，焊上同规格导线，将焊点磨平。

④ 用 0.05mm 亚胺膜或“三合一”云母带包扎匝间绝缘。

⑤ 新、旧绝缘交接处应用 30～50mm 坡口。

⑥ 包扎主绝缘，可采用多胶粉云母带，层数、厚度同原线圈。外层再平包 1 层玻璃丝带。

⑦ 线圈通电加热，将槽线圈边嵌入槽内，打入槽楔。

⑧ 测直流电阻、做出厂试验。

2-48　定子线圈磨损和电腐蚀如何修复？

（1）6kV 及以下电机电腐蚀修理法

若线圈绝缘已被腐蚀、磨损，槽楔松动（热模压工艺有此现象），线圈与槽之间积有粉尘。为防止产生故障，应将槽楔更新后浸1038号漆（即1032快干漆），用它填满空隙，黏住槽楔。

(2) 引线和线圈端部与端箍间磨损并露铜的修理法

拆除绑扎绳，清除旧绝缘，用环氧胶涂到露铜的部位上，将线圈或引线与端箍之间垫上涤纶毡垫，再用涤纶绳或无纬带绑牢，然后浸1032快干漆、烘干。

(3) 对10kV电机防晕层被腐蚀的修理法

先将线圈加热至100℃左右，剔出槽楔，起出线圈。检查、试验起出的线圈，除掉外部被腐蚀的残余绝缘，用环氧胶填平线圈表面，再用三合一云母带包扎至原来的绝缘厚度，然后进行防电晕处理，将起出的线圈重新嵌入槽内，打入槽楔。

(4) 防止绝缘电腐蚀和磨损的两点措施

① 应使槽楔在槽内保持牢固的状态　如采用短槽楔（将一根长槽楔一分为二或三、四）、槽楔下加垫条、浸环氧无溶剂漆等措施。

② 运行10～15年的高压电机，可将绕组的头、尾对调。这样可以使长期处于高电位的出线端与低电位的末端互换位置，有利于延长电机的使用寿命。

第三章　常见机械故障的检修及结构设计

第一节　机械故障的诊断

3-1　机械故障有哪几种?

机械故障有以下 7 种：

① 轴承发热；

② 电机振动；

③ 机座变形；

④ 密封件失效；

⑤ 转子轴向窜动；

⑥ 紧固件松动；

⑦ 部分零部件损伤。

3-2　如何诊断故障类型?

常见机械故障的类型及产生原因，见表 3-1。

表 3-1　常见机械故障的类型及产生原因

故障类型	故障表现	产生原因
因制造质量产生的故障	振动	1. 动平衡校核不合格 2. 机座变形，两止口同轴度超差，气隙不均
	机座变形	时效不到位，见第三节
	转子轴向窜动	两端轴承搭配有问题。对于齿轮连接要求转轴在轴向窜动仅限于装配公差范围内的电机，应将深沟球轴承置于轴伸端
	轴承发热	见第二节
	密封件失效	材质达不到要求

续表

故障类型	故障表现	产生原因
因使用维护不当产生的故障	紧固件松动	安装时没检查或没拧紧
	部分零部件损伤	安装、搬运时磕碰或维护不当
因制造及使用维护不当产生的故障	轴承发热	见第二节
	密封件失效	超期使用
	振动	1. 与设备耦合时，联轴器处校正不合格 2. 电机在热态下中心高发生变化，校正精度被破坏
	轴弯、轴断	见第四节

第二节 轴承部位的检修

3-3 电机行业如何定义“轴承结构”？

电机行业将轴承及与之相关的零部件，如轴承内、外盖、端盖、轴承套等组合在一起称之为“轴承结构”，并非狭义的轴承本身的结构。

3-4 怎样保证滚动轴承能够安全地运转？

轴承是一个很“娇气”的部件。要想让它安全地运转，必须做到以下的“八不要”：

① 不要受到挤压；

② 不要过热；

③ 不要别劲；

④ 不要干研；

⑤ 不要污染润滑脂（油）；

⑥ 不要让伪劣轴承混入电机；

⑦ 不要受到意外的损伤；

⑧ 不要因相关零件（主要是隔爆等级高的轴承内盖或推盖）的刮、研而殃及轴承。

从这“八不要”中可以看出，它们与设计、检验、安装、使用维护，甚至储运都有关。但最主要的还是①、②、③，见表 3-2。

表 3-2　保证滚动轴承安全运转“八不要”的对策

序号	八不要	保证八不要的对策
①	不要受到挤压	1. 轴承室内径的公差要由$^{+}_{-}$或$^{+}_{0}$改为$^{+}_{+}$ 2. 卧式电机尽量选用一个深沟球轴承、一个短圆柱滚子轴承 3. 立式电机也应保证转子自由伸缩
②	不要过热	1. 通风散热结构及路径的设计要考虑轴承，特别是轴伸端轴承的散热与冷却状况 2. 尽量避免选用三轴承 3. 加脂量要适量，润滑脂的牌号、质量要有保障
③	不要别劲	1. 与轴承相配合(直接、间接)的零、部件的同轴度要保证 2. 轴承距 l 不宜太大 3. 机座时效要到位，服役期间不应变形
④	不要干研	1. 润滑脂的牌号应能适应电机的要求及使用环境 2. 轴承结构应能含住润滑脂
⑤	不要污染	1. 电机的防护等级应能满足使用要求 2. 润滑脂应能抵御现场的腐蚀性介质
⑥	不要选用伪劣轴承	1. 尽量选购名牌轴承 2. 轴承装入电机前应进行检查
⑦	不要受到意外损伤	1. 轴承宜加热装到电机上，不要用大锤硬敲 2. 较大的电机，转子插入后，两个端盖应同时进入电机止口，使转子呈平行状态进入轴承室(装配时，转子两端同时吊起) 3. 较大的电机运输时，最好将电机轴线与运输车的行驶方向呈垂直状态，避免急刹车时啃伤轴承
⑧	不要让轴承内、外盖与轴相擦	1. 内、外盖的加工精度要保证 2. 隔爆等级满足要求即可，不要攀高 3. 在需要隔爆等级高，或电机比较大的情况下，可采用以下措施 ①增加轴贯穿处隔爆接合面的长度 L，可在某一范围内增加该处隔爆接合面的直径差 W ②采用曲路或推盖结构，见图 1-16 和图 1-17 ③轴承外盖也计入隔爆零件

3-5 怎样保证轴承不受到挤压?

滚珠或滚子在滚道中能轻松自如地旋转，是因为它们与轴承内外套间有游隙存在。若轴承套受到挤压，这游隙就要变小。因为轴承游隙的数值很小，所以对游隙的变化很敏感，因此轴承最怕受到挤压。挤压在诸多损坏原因中居首。防止挤压的对策有如下两条。

（1）轴承室内径的公差要由$^{+}_{-}$、$^{+}_{0}$改为$^{+}_{+}$，见表 3-3。

表 3-3 本书推荐的轴承室内径公差 mm

轴承室内径	30～50	>50～80	>80～120	>120～180	>180～260	>260～360
轴承室内径公差	+0.025 +0.005	+0.027 +0.005	+0.030 +0.005	+0.034 +0.005	+0.039 +0.005	+0.045 +0.005

若选$^{+}_{-}$公差，运行时轴承一发热，该处必然要出现过盈，使滚动体受挤压，招致轴承过早地损坏。

为避免轴承外套在轴承室中周向滑动，可使端盖（或轴承套）与轴承内、外盖止口深度在轴向的累计公差为“+”，且累计在内、外盖的平面接合面处，以保证内、外盖夹紧轴承外套，见图 3-1。

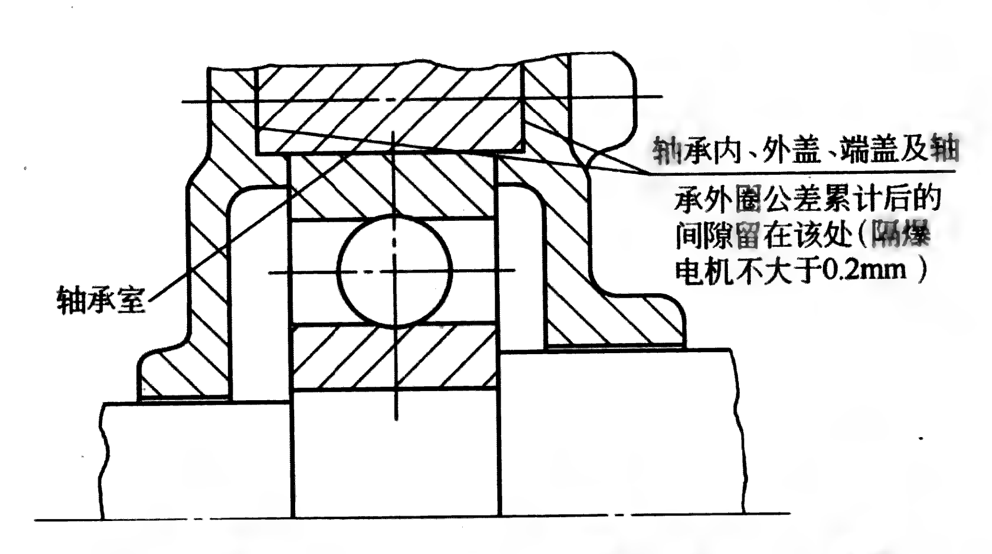


图 3-1 轴承内、外盖、端盖及轴承外圈间隙示意图

对于隔爆型电机，此间隙不要大于 0.2mm。数控或数显机床均可以保证此公差。

（2）卧式电机尽量选用一个深沟球轴承、一个短圆柱滚子轴

承（以下简称“球轴承”、“柱轴承”）。

目前国产的 2 极中小型防爆电机多采用两个球轴承。由于轴承外套的线胀系数比承担轴承室的铸铁件——端盖或轴承套的大，加之运行时轴承外套处的温度也较高，即使是在室温下轴承外套可以在轴承室中蠕动一点点，在热态下也未必能蠕动得了。这就很难消化因转子热胀冷缩加在该处的力，滚珠在承受这样一个额外的轴向力的作用下导致轴承很快损坏。北京燕山石化炼油厂拆检选用两个球轴承电机时发现的损伤部位如图 3-2 所示，这显然是承受额外的轴向力所致。

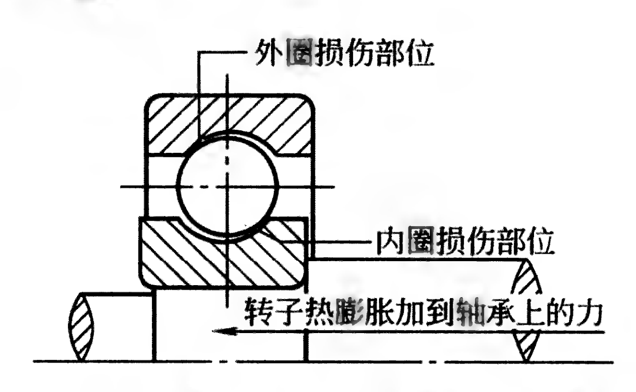


图 3-2　轴承因转子热膨胀承受轴向力而损坏的示意图

转轴在热膨胀时的伸长量 Δl 按下式计算

$$\Delta l=0.0000117(t_2-t_1)l$$

式中　t_2——热态时转轴温度；

t_1——电机装配时的环境温度；

l——轴承距。

以 200kW 左右的 2 极电机为例，通常 $t_2\approx90℃$，$t_1\approx20℃$，$l\approx1000$mm，代入上式后，得 $\Delta l=0.819$mm。若选用两个 6320 轴承，其轴向游隙 S 按下式计算

$$S=0.2\sqrt{g_H d_w}$$

式中，$g_H=0.02\sim0.046$mm，为基本组的径向游隙；$d_w=38$mm，为钢球直径，代入上式后，得到最大的轴向游隙 $S_{max}=\sqrt{0.046\times38}=0.264$（mm）。两个轴承的最大轴向游隙之和 0.528mm，仍小于 Δl。即使是选用最大游隙的第 4 辅助组的轴

承，代入 g_{Hmax} 值后算得的 $S_{max}=0.394$ (mm)，两个轴承最大游隙之和为 0.788，仍小于 $\Delta l=0.819$mm。而此时代入 g_H 值后 S 分别为原始径向、轴向游隙，装到电机上形成的配合游隙要小于此值，工作时因发热形成的工作游隙就更小了。这就意味着当轴承外套不能在轴承室中蠕动时，轴承势必要因滚珠受到挤压而加速损坏。

若选用一个球轴承、一个柱轴承，则可避免上述故障。1983 年，佳木斯电机厂将 JB560 机座号中的 2 极高压防爆电机，由原来采用 2 个 220 球轴承（新牌号为 6220）改为一个 220 球轴承、一个 2220 柱轴承（新牌号为 N220），在天津炼油厂一直运行得很好。几次去现场在轴承外盖处测得的温度均不超 30℃，现场电工很放心。

为了解决选了一个柱轴承的极限转速、发热及噪声的问题，可采用轻系列柱轴承，并将它放在外风扇端，冷却状况好；轴承的噪声也能被风扇噪声所淹没。若功率较大的 2 极电机，采用的轴承号码较大，在脂润滑时轻系列也难以胜任极限转速的要求时，还可以将脂润滑改为稀油润滑。佳木斯电机厂将 355kW 2 极高压防爆电机由原脂润滑改为稀油润滑（这样大的电机仍可用脂润滑），在石家庄炼油厂试用，未收到用户反馈的质量问题。

安庆化肥厂使用的德国 1MJ3，440kW 2 极高压防爆电机采用的轴承也是一个球轴承、一个柱轴承（脂润滑）——6217、NU217。

(3) 对于立式电机也同理，不管上、下两端的轴承怎样搭配，总应该使转子能在热胀冷缩的范围内自由地伸缩。

图 3-3 为拖动筒带泵中型立式电机的轴承搭配。因启动时有瞬间向上的轴向力，故选用两个对装的径向推力球轴承，放在非负荷端。负荷端（下面）则放一个柱轴承。

对于小型筒带泵用 2 极电机，用一个普通的球轴承、一个柱轴承即可。若嫌承受的轴向力（未被利用的径向负荷的 1/3）小，可将号码选大。尽量不用两个对装的径向推力球轴承，拆装困难，且容易发热。

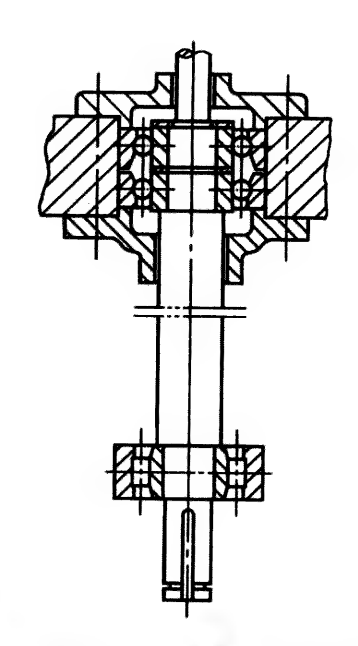


图 3-3　在中型筒带泵用 2 极防爆电机上推荐的轴承选用方案

若仅有向下的轴向力，且功率比较大的 2 极立式电机，可采用图 3-4 的结构：一端为 2 个或 3 个串联的径向推力球轴承，稀油润滑；另一端仍用一个柱轴承，可用轻系列小号码的。采用脂润滑。柱轴承在上，在下均可。

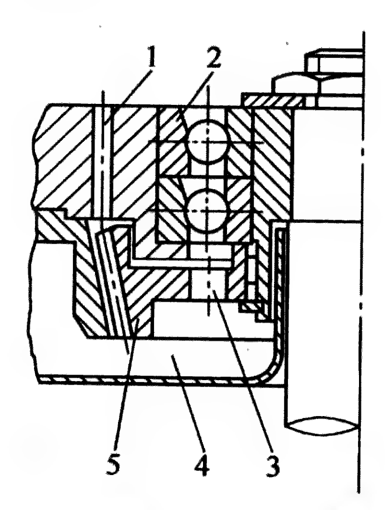


图 3-4　立式电机稀油润滑轴承结构

1—进油孔；2—径向推力球轴承；3—排油孔；4—油池；5—甩油环

3-6　怎样保证轴承不过热?

（1）通风散热结构及路径的设计应考虑轴承，特别是轴伸端轴承的散热与冷却状况

① 轴承应尽量远离电机的发热部位——定、转子绕组。

② 带有内循环通风的电机，应使冷却后进入电机内腔的气流率先吹到较热的轴伸端的轴承上。

③ 外风路的气流在逸散到电机周围之前，可以借助挡风板先吹拂到轴伸端轴承外盖处再逸散到周围。

④ 与轴承接触的零件应加设散热筋。

（2）尽量不要采用“三轴承”结构，见图 3-5

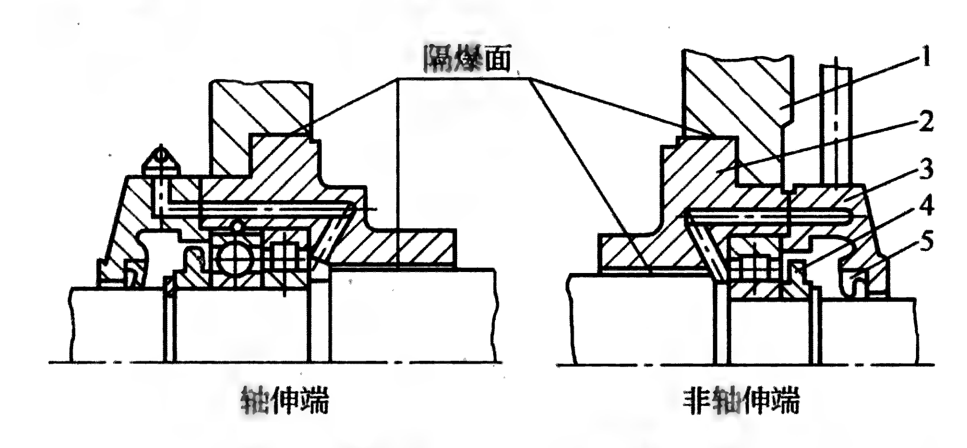


图 3-5 防爆电机采用的“三轴承”结构

1—端盖；2—轴承套；3—轴承外盖；4—挡油盘；5—密封圈

“三轴承”结构源于德国隔爆等级较高的 2 极电机。2 极电机因转速高，轴承发热量大，需要选用大游隙轴承。而大游隙又与隔爆间隙小相悖，无奈之下选用三个轴承：两个轻系列的柱轴承，承受径向力，也起径向定位作用；一个球轴承仅承受轴向力（外套与轴承室有间隙），起轴向定位作用。若将该结构用到隔爆等级低、隔爆间隙较大的产品上，则大可不必。即便是电机拖动具有轴向力的负荷，如拖动对旋式风机的 YBF 电机，将球轴承的号码选大点，仍用传统的两个轴承也能满足使用要求。采用这样传统结构的 YBF 电机已有服役 5 年以上的产品，未见异常。

“三轴承”结构有两个缺点：容易发热；不便拆装。因此，尽量不用。

（3）润滑脂的质量、牌号及加注量

① 选用润滑脂时要用优质品，不要嫌贵。否则会因小（涂到轴承上的并不多，见③）失大。

② 润滑脂的牌号要能胜任电机的转速及使用环境。

③ 加脂量要适当。若润滑脂不流失、不变质，在役的润滑脂仅是很少的一部分，形象点说，就是一层膜在工作。若轴承结构、润滑脂牌号能保证电机在运行时润滑脂能被含住，或者流失的很少，则修理后重新装配的电机，润滑脂未必“多多益善”。过多的润滑脂粘在轴承两侧，不利于轴承的散热。加脂量 G 按下式计算：

$$G=BD/(100\sim150)\quad(\mathrm{g})$$

式中　B——轴承宽度，mm；

D——轴承外径，mm。

高速电机取小值，低速取大值。

④ 其他

a. 皮带轮张力过大时应调节到合适的状态；

b. 若轴承游隙小，必要时更换大游隙轴承；

c. 加强监控，在轴承室较热的部位埋入热敏元件，用继电保护系统将温度控制在某一值（不超过 70～75℃为宜）上。

3-7　怎样保证轴承不别劲？

（1）与轴承有关的零部件的同轴度要保证

电机装成后，两端轴承必须在同一条轴线上。这就要求转子或转轴、端盖、轴承套、机座在加工时要精心，同轴度务必保证。其中轴承套这个零件，从保证同轴度着眼，能不用最好不用。因为有它时，轴承先装入轴承套，轴承套再装入端盖中，多一道径向配合的尺寸链，对于保证同轴度来说，显然不如将轴承直接装入端盖中好。

（2）轴承距 l 不宜太大

l 尽量遵循下式

$$l<10d$$

式中　d——轴承内径，mm。

若设计时，保证不了上式，应设法使 l 小一点。同时，采取些补救措施。如：提高转子刚度（铁芯与转轴采用热套配合）；

提高动平衡精度。

(3) 使用中机座不要变形

较大的铸铁机座及钢板焊接机座，时效必须到位。尤其是形状不对称，结构上又比较“单薄”的焊接机座，在时效上决不可含糊，否则，后患无穷。

3-8 怎样保证轴承不干研?

“干研”指轴承滚道中无润滑脂（油）。电机出厂或修后重新组装时，加注润滑时都比较“慷慨”，不敢慢怠轴承。

虽然有些偶然原因，如现场工人没及时加润滑脂，招致轴承干研，但主要原因是以下两个。

(1) 润滑脂牌号不能满足使用要求

润滑脂对于转速、温度比较敏感。应按照不同的使用状况选用不同牌号的润滑脂，几乎不存在“万能”润滑脂。德国 FAG 公司按照不同温度、转速、负载种类选用了 5 种润滑脂用在不同的电机上，见表 3-4。

表 3-4 德国 FAG 公司推荐的润滑脂牌号及适用范围

润滑脂牌号	增稠剂	40℃时基油黏度/(mm^2/s)	温度范围/℃	主要特点	主要用途
L78V	锂皂	ISO VG100	−30~140	$D \leqslant 62$ 轴承用标准润滑脂	小电机、家用电器
L71V	锂皂	ISO VG100	−30~140	$D > 62$ 轴承用标准润滑脂	小电机、机动车车轮通风装置
L135L	锂皂、带极压添加剂	85	−30~150	用于高速、重载荷和高温条件的专用润滑脂	辊轧机用电机
L186V	锂皂、带极压添加剂	ISO VG460	−20~140	用于中速、超高载荷和高温条件下的专用润滑脂	重型采矿机械及振动机用电机
L12V	钙/聚脲	130	−40~160	用于高温的专用润滑脂	特种电机

注：D 为滚动轴承外径。

（2）轴承结构未能含住润滑脂

在带有注、排油的轴承结构中，在轴承的外侧通常带个甩油盘，它的功能是将废旧润滑脂“甩”到外盖下部的储油室中。但有的产品加上它要起负作用。比如煤矿主井风机用的 YBF 电机，因风机为对旋式，运行中要出现“喘振”现象。喘振严重时能将叶轮在根部“抖”裂。轴承润滑脂也在这种高频“抖动”下流失。这是 YBF 电机轴承损坏的主要原因。将甩油盘改为挡油盘后，含住了润滑脂，轴承因干研而损坏的故障就明显减少了。因此，设计者必须按照电机的实际使用状况设计轴承结构。图 3-6（a）是带挡油盘的轴承结构，图 3-6（b）是带甩油盘的结构。

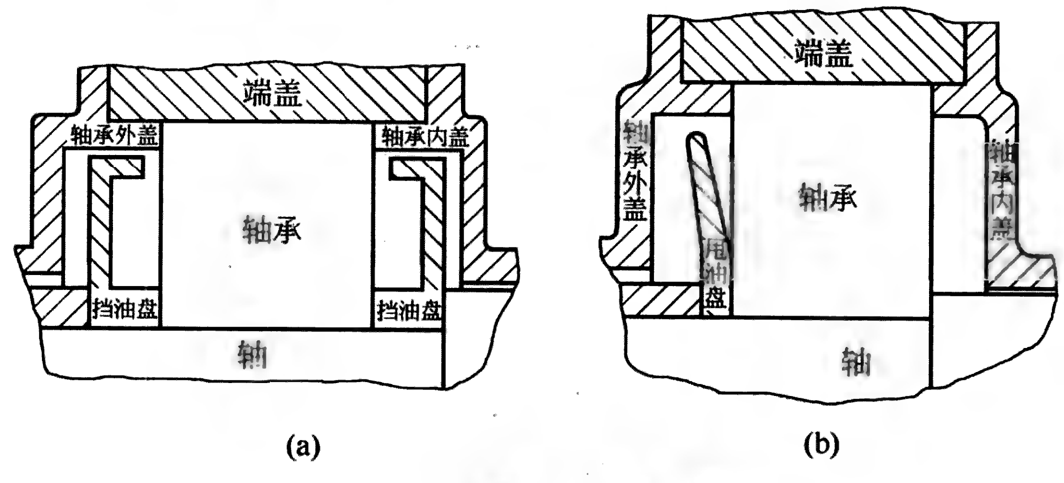


图 3-6　带挡油盘、甩油盘的轴承结构

3-9　怎样保证轴承不受污染？

（1）电机的防护等级应能满足使用要求

润滑脂中决不允许有灰尘混入。除粉尘防爆及潜水电机外，国内电机的防护等级绝大部分是 IP44、IP54，后者允许在有粉尘场所中使用。对于轴承部分的防护，应注意以下五点。

① 电机装配现场要清洁无尘。涂上润滑脂后应立即将轴承内、外盖装好，不能间歇。

② IP54 的主要措施是在外盖处加橡胶密封圈。橡胶密封圈有两种，见图 3-7。（a）、（b）两种结构的摩擦表面的粗糙度务必保证。

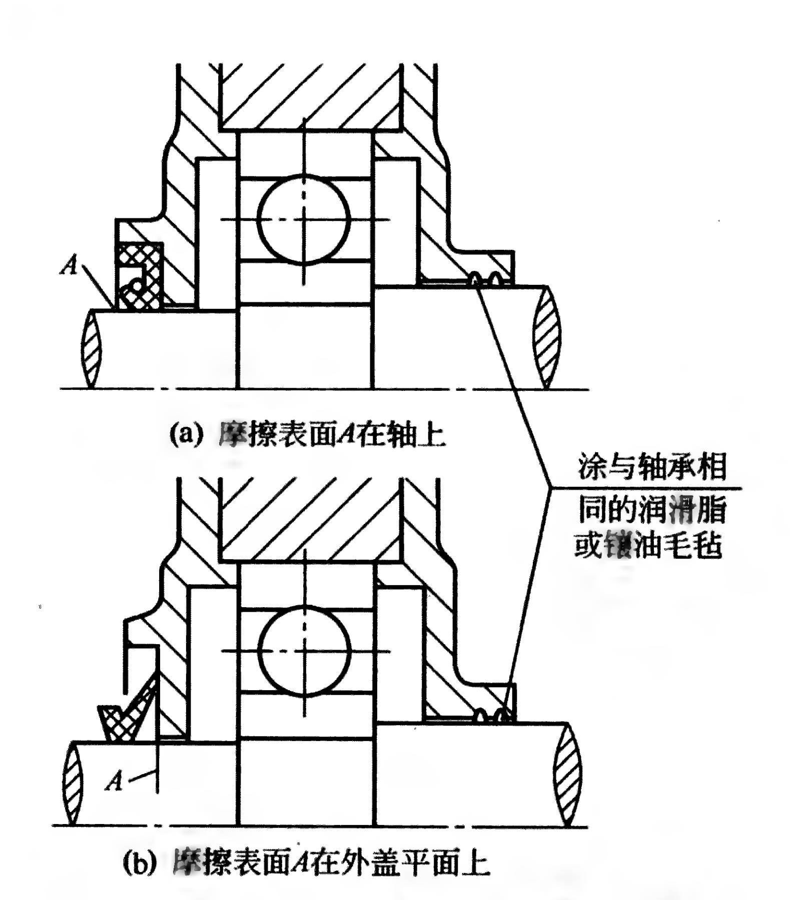


图 3-7 IP54 两种橡胶密封圈示意图

③ 橡胶密封圈容易老化，要按时更换。

④ 轴承内盖处的防护也不容忽视，一是防止润滑脂进入电机内腔；二是防止电机内腔的灰尘进入轴承室。

⑤ 户外用的电机，应在外盖处加甩水环，见图 3-8。

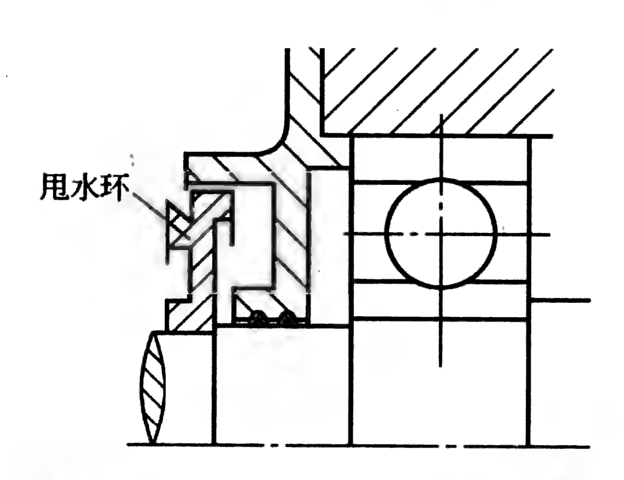


图 3-8 户外电机轴承结构示意图

此外，对密封有特殊要求时，还可以采用“气动密封”——将过压空气充入轴承室。

(2) 润滑脂应能抵御现场的腐蚀性介质。

可采用−25℃ 3号锂基脂或−40℃ 200-Ⅰ型高低温润滑脂(上海树脂厂产),见表1-31。

3-10 怎样避免选用伪劣轴承?

目前国内电机行业采用的进口轴承有三家:瑞典SKF、日本KOYO及德国FAG。国内几家名牌产品的质量也属上乘。但无论哪一家产品,装入电机前最好检查一下。对于杂牌轴承,最好不用。若一定要用,必须经过严格检查。

3-11 怎样不使轴承受到意外损伤?

(1) 轴承应加热用套筒推到轴上。

(2) 较大的电机应将转子两端同时吊起装端盖。特别2极电机,气隙较大。若将一端的轴承、端盖先装好(有些厂家图省事,经常是先装好一端),转子靠定子铁芯内径支撑,则转子呈倾斜状态。除可调心的调心球轴承及调心滚子轴承外,在弯矩作用下的轴承均要受到损伤。

(3) 较大的电机运输时,装车时最好让电机轴线与车行方向垂直,以免急刹车时啃伤轴承。

3-12 怎样避免轴承内、外盖与轴相擦?

① 内、外盖同轴度及内孔的加工精度尽量提高,使轴承内、外盖与轴的直径差的实际值加大。

② 隔爆等级能低就不选高,使该处间隙加大。

③ 在需要隔爆等级高或电机比较大的情况下,可采用以下措施。

a. 增加隔爆面的长度 L,可使该处间隙(直径差)W 增大。见表1-25,在 25mm≤L<40mm,不同容积时 W=0.45mm、0.4mm、0.3mm;当 40mm≤L 时,W=0.6mm、0.45mm、0.4mm(ⅡB、滚动轴承)。

b. 采用曲路或推盖结构见图1-16和图1-17。

c. 将轴承外盖也计入隔爆件，从隔爆原理上讲，内、外盖的 W 值可以增加一点。

d. 可以采取其他补救措施：如将内、外盖止口增加一段紧配合，以提高同轴度，见图 3-9；还可以使隔爆零件间呈球面接触，见图 3-10，加工比较复杂，但可安全地用在ⅡC 级隔爆电机上。

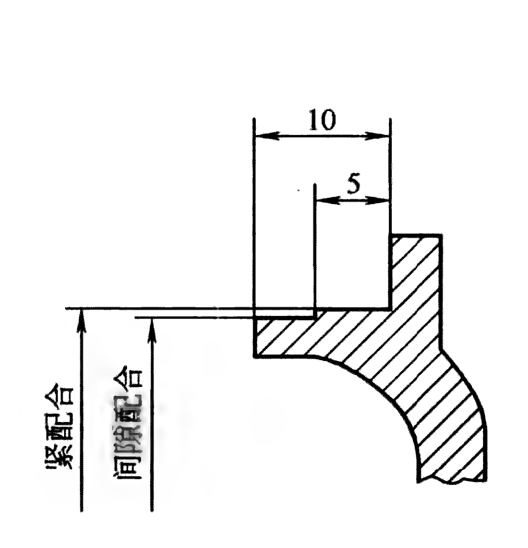


图 3-9 带紧配合的内、外盖

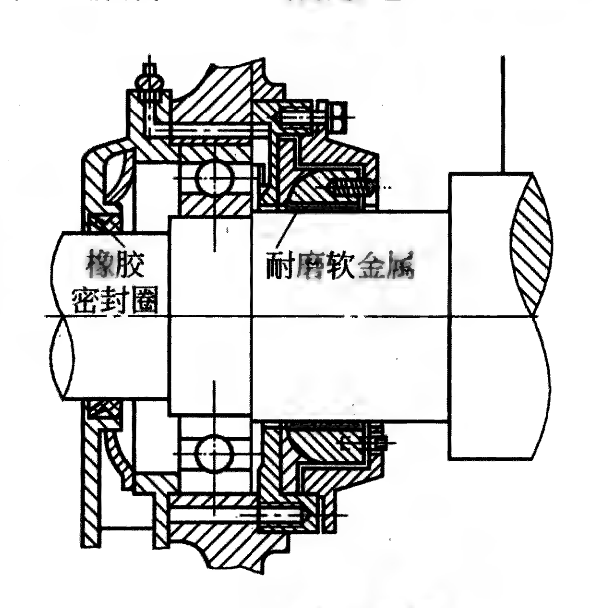


图 3-10 浮动轴封隔爆结构

3-13 怎样保证滑动轴承能够安全地运转？

目前采用滑动轴承的防爆电机有两种轴承结构——座式轴承、端盖式轴承。安装方式分别为 IM7211、IMB3，见图 1-1。偶有需要低中心高的产品时，制造厂亦可提供机座下半部低于底脚平面的产品，安装方式分别为 IM7311、IMB20。因轴承结构与 7211、B3 相同，故不另述。

轴承安全运转由以下两个环节保证。

（1）排除常规的机械故障

常见机械故障及排除办法见表 3-5。

（2）排除轴贯穿处隔爆结构的故障

滑动轴承用的隔爆结构见图 1-18，这是国内已采用的结构。德国还有“迭片式”结构，见图 3-11。

图 1-18 及图 3-11 结构都是用在大型隔爆电机上。因数量很少，未收集到出现的质量问题。不过它们与中小型防爆电机上用

表 3-5　滑动轴承的常规机械故障及排除办法

序号	故障表现	产生原因	排除或修复办法
1	轴承过热	1. 润滑油牌号不合适	1. 按说明书规定或凭成熟地使用经验选用润滑油
		2. 油位低	2. 按说明规定核对油位
		3. 油环不转	3. 检查油环的圆度及与轴瓦油环槽的配合间隙，按图样更换或修复
		4. 电机与被其拖动的设备间的同轴度超差	4. 重校同轴度
		5. 承受轴向推力	5. 排除轴向推力 (1)若来自风扇，可调整风扇、风路结构，使其不产生轴向力 (2)若来自设备，可在设备上采取措施，如加设深沟球轴承等
		6. 轴弯或两轴承间同轴度超差	6. 重新校正，按常规办法修复
		7. 轴瓦内表面粗糙	7. 检查轴承合金是否位移位、剥落；是否存在由于轴电流腐蚀产生的麻点。若有，应采取修补、刮，修复轴瓦；更换轴承绝缘(防止轴电流)。必要时抛光轴颈
		8. 润滑油失效	8. 更换润滑油
2	漏油	1. 密封面间隙大	1. 涂密封胶
		2. 密封失效	2. 检查浮动密封圈，按要求更换
		3. 气封失效	3. 检查补气是否畅通
		4. 油位过高	4. 调到合适高度
		5. 润滑油流量大	5. 调节流量，核对油位
3	轴电压高	定子电路或磁路不对称	修改设计，将电路或磁路对称，或查找制造原因，如气隙不均匀等。轴电压应小于0.5V
4	轴承合金剥落	合金材质或浇注工艺不当	浇合金、刮瓦及调间隙
5	轴承合金磨损严重	轴承径向间隙不合适	浇合金、刮瓦及调间隙

的“推盖式”结构同样在加工上难度大，要求的精度也高。若出现故障，也是加工精度、形位公差或零件材质上的问题（因为这两种结构都经过了实际运行的考验）。

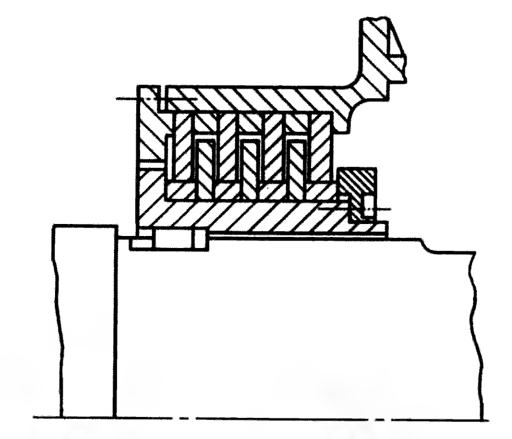


图 3-11　德国在大型 2 极隔爆电机上采用的轴贯穿隔爆结构（“迭片式”）

第三节　机座的检修

3-14　机座故障主要表现在哪儿?

由机座引起的故障主要表现其变形上。

3-15　哪些原因会使机座产生变形?

机座产生变形由设计、制造两方面因素构成。

(1) 设计原因

① 没完全按照结构力学的理论设计受力件，如机座上轴向、径向筋的尺寸、形状、位置的设计。

② 机座整体设计不匀称。如 YA500 机座号的机座，加工后下部剩的有效部太小。见图 3-12。

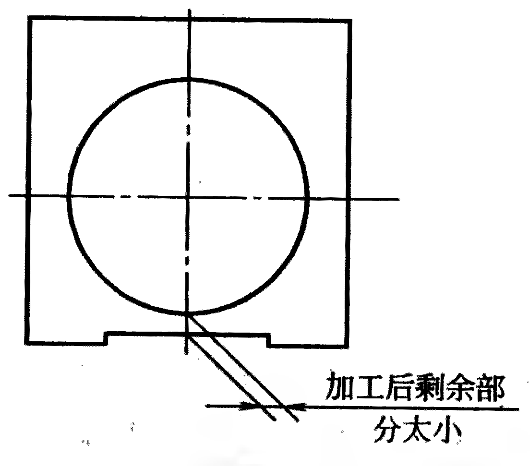


图 3-12　“方箱”机座示意图

（2）制造原因

① 时效不到位。

② 金工加工时装卡部位及受力不均匀，加工完，松开卡紧部位后，机座因反弹而产生变形。

③ 搬运中产生变形，这是次要原因。

3-16　机座变形的危害是什么？

① 机座两止口同轴度超差，使两端轴承不能在同一轴线上正常运转而过早地损坏。

② 使定、转间气隙不均匀，产生振动及电磁噪声。

③ 底脚不在一个平面上，容易破坏与被拖动设备间的同轴度。若硬是靠地脚螺栓（亦称锚钉）拉住，则容易使底脚断裂。20 世纪 70 年代在燕化炼油厂使用的 1JB5-2，160kW 防爆电机，因机座没时效，运行中产生变形，使一个底脚在外辐板的焊接处被拉断，可见焊接时遗留的内应力之大。

④ 机座容易在径向产生不均匀的变形，见图 3-12，若机座在铁芯处因变形而不均匀地收缩，则使定子铁芯承受不均匀的径向力。越是极数多的电机，因为定子轭部窄而变形的幅度就越大，加之气隙又比 2、4 极的小，所以扫膛的噩运降临到它们头上也就不足为怪。

铁芯受不均匀地挤压还有一个“视而不见”的隐患，就是铁损耗也要因此而莫名其妙地增加，其危害无需赘述。

⑤ 机座变形的主要原因是刚度差。刚度差另一个不可忽略的问题是：与铁芯、绕组成为一体——成为定子后，在外施力——电磁转矩的反作用力的作用下，当它的变化频率与机座的固有振动频率相同或十分接近时，要产生共振。共振使机座变形急速增大，在产生共振时，机座所承受的应力很可能增大到危险的数值上，使机座损坏或产生较大的变形，其危害如上述。

3-17　怎样防止机座变形及提高机座刚度？

① 加轴向、径向筋。当筋的尺寸、数量按结构力学的理论

恰到好处时，既可以提高机座刚度，又能节省结构材料。

② 机座的径向结构尽量设计对称。对于图 3-12 的情况，可将机座设计成由中间分开，形成上、下两半的结构。定子铁芯可以由上面装入机座，则承重的 4 个环形筋的中间两个（承受定子重量）设计成半圆状；外面的两个可以设计成整圆的（承受转子重量），见图 3-13。因为定子是从上部，而不是从端部、轴向装入机座，则外面两块（制造称它为“壁板”）的内径就可以设计得小些，避免了图 3-12 的弊病，及由此带来的质量问题。

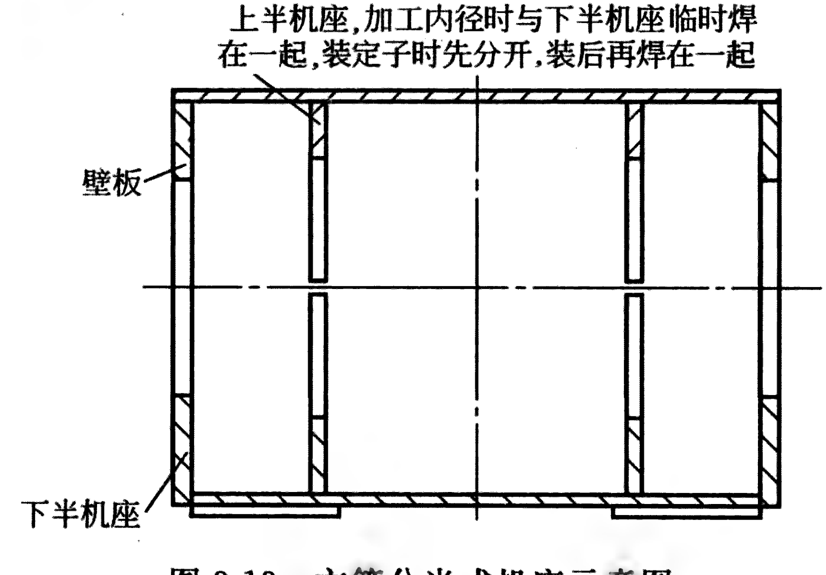


图 3-13 方箱分半式机座示意图

③ 机座时效要到位。

④ 金工加工装卡时要均匀。若分粗车、精车完成加工，则精车时可将装卡的力度调小些，以防松开后产生较大的变形。

3-18 为什么机座的缺陷不容易察觉？

（1）共振现象如果存在，经常是出现在某一转速上，在启动的过程中转瞬即逝。因此不容易被察觉。若恰好在额定转速附近产生共振，则很容易被发现。

（2）最多、最大的问题，是因时效不到位产生变形。因焊接应力完全释放出来需要一个较长时间，所以加工中很难发现，特别是工期较短时。因此它被称为典型的隐患。

第四节 其他零部件的检修

3-19 防爆电机的端盖、轴承内、外盖等在检修时与普通电机有何异同?

防爆电机的上述零件在检修时，对形位公差的要求与普通电机是一样的，只是增加了防爆面除锈、防锈及隔爆面的修补等内容。详见 GB 3836.13。

3-20 轴弯、轴断的原因及预防措施是什么?

(1) 轴弯的原因及预防的对策

轴弯的部位出现在轴伸处，主要原因是与电机轴伸相耦合的皮带轮或齿轮加给轴伸的弯矩或扭矩突变所致；其次是电机转轴材质的问题，或未按规定进行调质处理等原因。

因此，要避免轴弯，一要将皮带轮张力、齿轮压力调到合适状态；二是核实轴的材质，并按工艺要求进行热处理。

(2) 轴断的原因及预防对策

轴断的原因主要在设计、制造上；其次与安装、校正误差过大或与皮带轮张力、齿轮压力有关，以及转轴材质未达到规定的质量标准，或者转轴未按规定进行调质处理有关（预防对策同上)。这些次要原因比较明显，也容易查找、处理。而设计、制造上的原因则比较隐蔽，并且应在断轴中列为主要因素，其对策如下。

① 转轴在设计时尽量不要有下凹的沟槽　下凹处，也是应力集中点，断裂最容易发生在这里。一定要加凹槽，比如加安放轴用弹性挡圈的槽时，应将该处的轴设计得略粗一点，或者加在非负荷端的外风扇处。轴伸的根部不要带凹槽。有的制造厂担心砂轮磨不到根部，加一凹陷的空刀槽，大可不必［见图 3-14 (a)］。因为联轴器、皮带轮、齿轮的内孔处均有倒角或圆 R。将空刀槽改为 R_1、R_3 ［见图 3-14 (b)］，不影响安装，但断轴的故障就可以减少了。轴承台也应该如

此，见图 3-14。

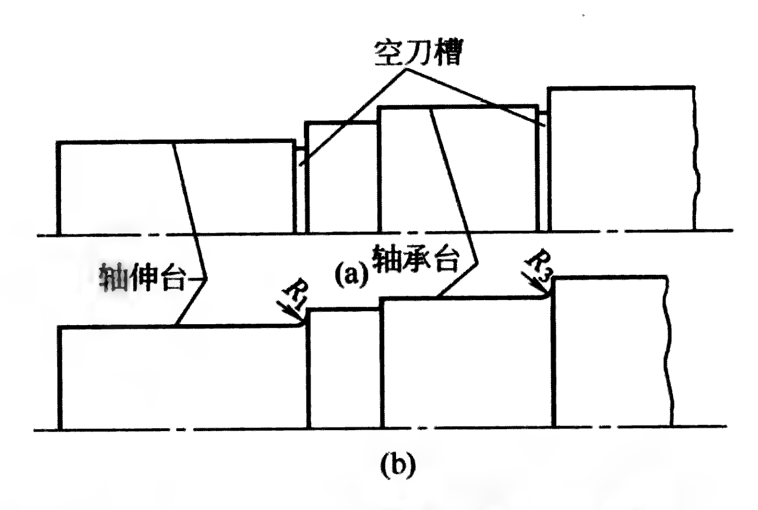


图 3-14 带空刀槽与带圆 R 的轴

② 带筋的轴 当轴的直径为 ϕ200～350mm 时用 4 根 30～40mm 厚的筋即可。因为焊接处的金相结构要发生变化，使该处轴的物理性能下降，见图 3-15。若数目增至 6～8 个，遭到破坏的区域有可能连成一周，轴就有可能在此处断裂。返修的电机曾有过转轴没在最细的轴伸处断裂，却在比较粗的焊筋处断裂的实例。

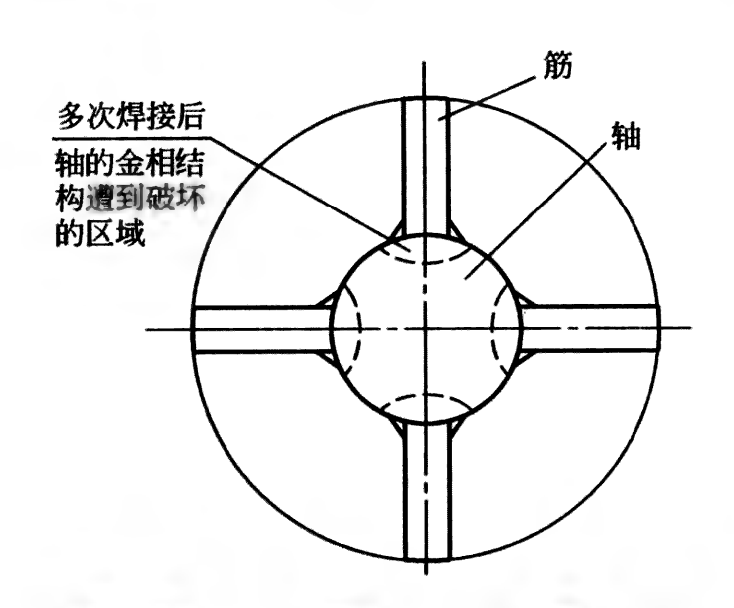


图 3-15 筋与轴相焊时，轴的金相结构遭到破坏示意图

此外，图纸上还应规定：筋与轴先点焊到一起，加热到 200～400℃后趁热焊在一起。因该处焊缝比较大，要分几次焊成。每次均应在热态下焊。焊成后时效处理：加热到 600～

700℃保温 1～2h，然后自然冷却。

第五节 质量保证措施

3-21 设计上保证质量的主要措施有哪些?

对于机械故障，从设计角度着眼，以轴承、机座、转轴三处为重点。

（1）轴承结构

抓住以下四个主要环节，就可以大幅度地减少故障，提高质量。

① 轴承不要被挤着，即不要让滚动体、滚珠、滚柱受到额外的力。

② 结构上应能含住润滑脂。

③ 轴贯穿处要设计得合理。

④ 与轴承有关的零部件的同轴度要保证。

（2）机座

① 按照结构力学的理论，多从刚度上考虑。

② 力求匀称，不要出现薄弱点，见图 3-12。

（3）转轴

① 不要出现应力集中的薄弱点。

② 带筋的轴，要以金属学、焊接理论为指导，科学地选用筋的尺寸及数量，尽量少破坏轴的金相结构，焊接工艺要得当。

3-22 制造上保证质量的主要措施有哪些?

① 转子要热套到轴上。铸铝、铜条焊接的笼型转子比较容易。绕线转子可将铁芯热套到轴上，然后嵌线、浸漆。

② 焊接机座时效要到位。

③ 机座、端盖、转轴的同轴度要特别地关照。

④ 轴承装配要精心，轴承必须逐个检查。

⑤ 铁芯质量要保证。铁芯质量对电机的温升、效率、功率因数、噪声、绕组寿命均有直接影响。若铁芯毛刺大、装压不

紧，则铁损耗、空载电流都要增加，导致效率、功率因数下降，温升增加；疏松的铁芯，电磁噪声也要增加；毛刺对绝缘也有损伤。很多制造厂因铁芯质量较差而不得不额外地增加绝缘层数。

转子铁芯也同样。制造时还要注意的是尽量不要出现菱形，否则要影响动平衡的精度。

⑥ 浸漆。绕组的浸漆质量也是制造中不容忽视、也是不容易检测的隐患。浸漆质量好，可以提高绕组的绝缘强度、机械强度及耐潮性，使电机的温升降低，提高绝缘寿命。

第六节 机械部分设计

3-23 怎样进行机械部分的设计?

除了自整角电机、无泄漏泵用电机等极特殊的产品外，绝大部分电机的总体结构都差不太多，国内、国外都如此：IP23 的电机有自己的规范结构；空/空冷、空/水冷也有自己规范结构；防爆电机中，自扇冷的、带内循环通风的，已都有各自的规范结构。不用说检修，就是新设计也跳不出这个大圈子。

因此，在进行机械结构的设计时，必然要参照现役中类似电机的结构，在此基础上完成自己的设计。

3-24 在机械设计时要注意哪些问题?

① 要执行标准。执行标准对于提质降耗、开拓市场均有益。若因客户特殊要求而偏离标准，厂家只能作为临时措施，不宜纳入图样中。

② 以上所说的不同类型的电机有各自的规范结构，设计时只能参照其粗线条的结构。在实际设计时，既不能太离谱，使类似的电机两种结构相差太大；又不宜照搬、照抄，要结合本厂的加工工艺及当前市场上材料供应情况开展设计。

③ 参照老结构的同时要顾及提高电机的设计、制造水平。

因为新的设计、制造技术及材料不断涌现。

④ 参照外厂电机结构时要注意以下两点。

a. 要仔细地分析、对比，“拿来就用”不太好。

b. 本章对机械故障的剖析，若在设计时有参考的必要应予纳入，避免重蹈覆辙。

第四章　振动与噪声

4-1　机械上产生振动的原因是什么?

机械上产生振动的直接原因是动平衡没校好。但其内在原因则与磁场中谐波级次与含量、支撑件刚度及部分零部件的结构形状有关。

4-2　机械上降低振动的措施有哪些?

机械上降低振动的措施如下。

(1) 设计的机座要有足够的刚度。

(2) 轴或整个转子的刚度也要有较大的裕度，即有较高的临界转速、较小的挠度。

(3) 排除不利于动平衡的因素

① 装有能保证精确校准动平衡的构件，如平衡块。为做到“精确”，平衡块应该由不同密度的材质做成多种规格的。德国西门子公司纽伦堡电机厂用的平衡块有塑料、铝、钢及铜质的。

② 所有在运行时装在转子上的零部件均应与转子一起校动平衡。

③ 对于笼型转子（铸铝或铜条焊接的），要将浇注或焊成后产生的“菱形”减至最小。因为“菱形”影响动平衡精度。

a. 浇注后要均匀地冷却（设计者应在图样或有关文件中强调这一点）。否则，转子会因冷却不均匀而弯曲，影响动平衡精度。

b. 设计转子槽形时，应尽量减小冲槽后在外缘处产生的应力集中，它是转子铁芯装压后产生变形、继而在浇注后产生菱形的祸根。为避免这一点，当采用闭口槽时，转子槽形的上部应为

半圆状，而不宜设计成尖角状，并在可能的情况下使槽口高稍大一点。采用半闭口槽时，这样的变形相对要小些，但上部同样带有圆角为宜。

④ 避免因运行时的热膨胀产生的变形而破坏动平衡。这主要是铜条转子的导条过热或因端环处焊缝分布不均匀产生局部过热所致。

⑤ 平衡块应尽量接近转子质量的实体部分，即笼型转子处。

(4) 避免支撑件在电机使用期间产生残余变形，对机座、端盖及带支架的转子应进行时效处理。

(5) 选择合适的气隙尺寸，气隙不宜过小。因过小的气隙很容易产生较大的气隙不均匀度，继而使单边磁拉力增大，不利于平衡。

(6) 对有关零部件要提高加工精度。比如与滚动轴承内套相配合的轴颈处，其椭圆度应减至最小。否则，轴承内套要产生较大的椭圆度，导致轴承滚道也呈椭圆形而产生双倍转速频率的振动。

(7) 采用滚动轴承时，径向要“宽松”；采用两个球轴承时，轴向应借助于加在轴承外套外侧上的“波纹形弹性垫片”使轴承在轴向有轻微的预过盈，以消除因轴承中较大的内部游隙而引起的振动。

(8) 通过控制电机的固有振动频率防止运行中产生共振或接近共振的现象。

(9) 在使用说明书中对联轴器的不同轴度应有明确而严格的规定。

4-3 各种噪声的频率范围及产生的原因是什么？

各种不同噪声的频率范围及产生原因见表 4-1。

4-4 怎样降低电磁噪声？

电磁噪声与气隙中定、转子磁场之间相互作用而产生的径向

表 4-1 异步电机噪声汇总表

类别	名称	频率 f 的范围	鉴别方法	产生原因
Ⅰ电磁噪声	1. 单边磁拉力噪声	$f=f_0$ f_0——电网频率	1. 机座两端噪声较大 2. 切断电源后立即消失 3. $f=2f_0$ 可单独出现，而 $f=f_0$ 一般与 $2f_0$ 同时出现 4. 声音比较稳定	1. 定、转子偏心，或有谐振现象 2. 机座或定子刚度差 3. 气隙过小
	2. 径向磁拉力脉振噪声	$f=2f_0$		
	3. 轻差声 （二次滑差声）	电网频率或倍电网频率按转差频率的调制声 $f=2sf_0$　s——转差	1. 时高、时低，变化与转差有关 2. 切断电源后立即消失 3. 耳听，一般称“老牛哼声”	1. 一般是转子三相不对称，如跳槽、空槽、断条、缩孔、偏心 2. 共轴电机转子刚度不够 3. 轴承安装问题
	4. 齿谐波噪声	$f=\mu_z Z\frac{n}{60}$ 或 $f=\mu_z Z\frac{n}{60}+2f_0$ μ_z——谐波次数(1,2) Z——定、转子槽数(主要是转子) n——电机转速，r/min	1. 机座处、出线盒处噪声较大 2. 变电压，噪声也随之变化 3. 切断电源后立即消失	1. 槽配合不当 2. 转子槽没扭斜 3. 工艺质量不良造成转子歪斜 4. 电机结构问题，有谐振现象 5. 转子偏心，气隙不均匀 6. 磁场中谐波含量大

续表

类别	名称	频率 f 的范围	鉴别方法	产生原因
Ⅱ通风噪声	1. 共鸣噪声(笛声)	$f=m\mu\frac{n}{60}$(Hz)处有明显的突出噪声 m——叶片数或通风道数或散热筋数 μ——谐波次数,一般为1,2	1. 风扇端或进风端噪声最大 2. 改变转速变化较大 3. 耳听,有明显叫声	1. 叶片数、通风道数、散热筋数设计有问题 2. 叶片与导风装置配合不合适
	2. 涡流噪声 (气体紊流声)	频带宽,一般 $f=100\sim8$kHz	1. 风扇端或进出风口处测点噪声最大 2. 声音较稳定,几台电机差异不大 3. 耳听,近于白噪声	与叶片形状、叶片尺寸、风道结构、通风效率都有关系。若所有配合合理,通风声可限制在500Hz以下
Ⅲ机械噪声	1. 轴承自身噪声	$f=2000\sim5000$Hz 在2kHz、5kHz有峰值	1. 轴伸端噪声较大 2. 2～5kHz高频成分多 3. 耳听,有明显轴承声	1. 轴承质量不佳 2. 轴颈、轴承室配合不当
	2. 轴承轴向噪声	$f=1000\sim1600$Hz 有明显峰值		1. 电机无轴向减振装置 2. 电机加工质量差,轴向卡死 3. 轴承滚道曲率半径太小
	3. 轴向窜动噪声	$f=50\sim400$Hz有明显峰值 $f=\frac{n}{10}$,或$\frac{n}{30}$,或$\frac{n}{60}$	1. 轴伸端噪声较大 2. 嗡嗡声不稳定 3. 时有时无 4. 频率不稳定	1. 无轴向减振装置或装配质量有问题 2. 加工尺寸偏差较大 3. 轴承内圈偏心;外圈、球不规则或有伤斑 4. 因振动不合格的影响

续表

类别	名称	频率 f 的范围	鉴别方法	产生原因
Ⅲ机械噪声	4. 端盖共振声	对小电机 $f=1\sim1.5\text{kHz}$ 有明显峰值	1. 轴伸端噪声较大 2. 用敲打法或激振法测固有频率	1. 主要与轴承振动谐振，这与加工精度有关(同上) 2. 与电磁振动谐振，除与槽配合有关外，也与工艺有关
	5. 机座共振声	小型电机 $f=500\sim1\text{kHz}$ 有明显峰值	1. 机壳振动较大 2. 用激振法或敲打法测固有频率	主要与电磁振动的谐波谐振
	6. 集电环处噪声	$f=4\sim10\text{kHz}$	靠近集电环测点的噪声较大	1. 碳刷太硬 2. 滑环加工精度差 3. 碳刷与刷握之间的间隙大 4. 碳刷压力不够
	7. 不平衡产生的噪声	$f=\frac{n}{60}(\text{Hz})$		1. 转子不平衡 2. 电机振动不合格

力、电机构件的动态响应及电机表面的声辐射特性有关。因此，降低电磁噪声应从抑制其产生和辐射两方面入手。

在异步电机中，由于定、转子电流在空气隙中建立的谐波磁场相互作用而产生的电磁力波引起铁芯轭部振动，并引起机座随之振动，迫使周围空气振动而产生电磁噪声。谐波磁场可沿铁芯的径向、切向或轴向产生引起振动的力波，其中径向力波起主要作用。在径向力波中，阶数 n（阶数 n 为任意瞬间力波出现幅值的个数，见图 4-1）小时幅值大，且频率的分布常在人耳的敏感区。前苏联对其统一系列感应电机的电磁噪声和振动的试验表明，最大的电磁噪声产生于与二阶振动相应的频率处[5]。

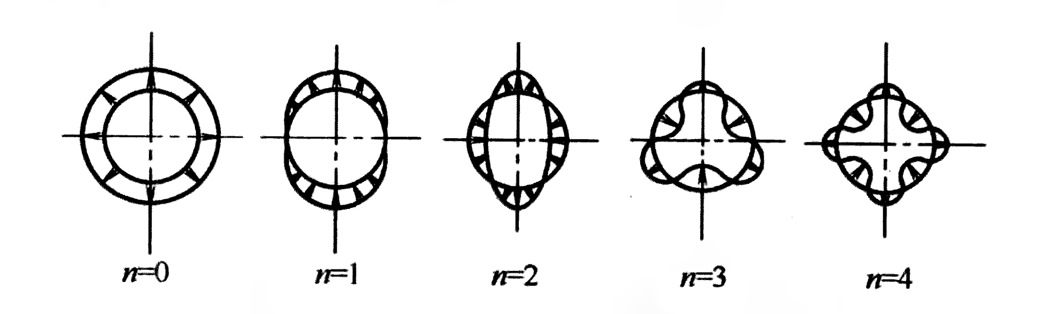


图 4-1　力波阶数示意图

$n=0$ 是环的整个表面在均匀径向力的作用下作等幅径向振动；

$n=1$ 是在定、转子铁芯间吸力作用下，环不变形而作变位振动；

$n=2$，3，4……是在径向力波的作用下，环产生椭圆形或多瓣梅花形振动。

异步电机气隙中主要力波的阶数为

$$n=|\mu_z \pm \gamma_z| \tag{4-1}$$

式中　μ_z——转子绕组磁动势中齿谐波次数；

γ_z——定子绕组磁动势中齿谐波次数。

$$\left.\begin{aligned}\gamma_z&=K_1 Z_1+p\\ \mu_z&=K_2 Z_2+p\end{aligned}\right\} \tag{4-2}$$

K_1，$K_2=\pm 1$，$\pm 2\cdots$

式中　Z_1，Z_2——定、转子槽数。

因此，限制低阶力波的产生，提高结构件刚度及阻尼特性便是降低电磁噪声的主要途径。

4-5 从降低电磁噪声考虑，怎样选择槽配合？

异步电机的槽配合对电机性能的影响较大，加之很难选出面面俱到的槽配合，往往顾此失彼而产生较大的电磁噪声。

考虑定、转子槽配合之后气隙中主要的电磁力波阶数和频率分别为

$$n=\mu_z+\gamma_z=\begin{cases}K_2Z_2\pm K_1Z_1\\K_2Z_2\pm K_1Z_1\pm 2p\end{cases} \tag{4-3}$$

$$f=\left[k\frac{Z_2}{p}(1-s)^{+2}_{\substack{+0\\-2}}\right]f_1 \tag{4-4}$$

式中，K_1，$K_2=\pm1$，±2，$\pm3\cdots$；$K=0$，1，2…

为使力波的 $n\neq0$、1、2、3；必要时 $n\neq4$、5，要选择适当的定、转子槽数 Z_1、Z_2。

按上式算出力波频率 f 后，应与固有振动频率相比较，两者不要接近。若固有振动频率难以精确地求得，可使 Z_1、Z_2 的选择满足以下两个不等式，也能避开固有振动频率而免于发生共振。

$$\left.\begin{aligned}&|Z_2-Z_1|\neq0,\ 1,\ 2,\ 3\cdots\\&|Z_2-Z_1|\neq2p,\ 2p\pm1,\ 2p\pm2\cdots\end{aligned}\right\} \tag{4-5}$$

上述要求均能满足的 Z_1、Z_2 即为从降低电磁振动、噪声角度出发筛选出的较佳槽配合 Z_1/Z_2。

参考文献［4］介绍：一台国外的 75kW6 极的绕线型电机，原来用 $Z_1/Z_2=54/45$，因 $|Z_1-Z_2|=2p+3$，负载时在 618Hz 和 827Hz 处出现一阶齿谐波引起的 $n=3$ 阶径向力波，使噪声超过 90dB（A）。改为 54/36 槽后噪声降到 75dB（A），由此例可见一斑。表 4-2 以 4、6 极为例列出不同 Z_1/Z_2 的噪声值。

Z_1/Z_2 应同时列出几个方案，因为还有其他性能对 Z_1/Z_2 有约束。设计者应权衡诸项技术要求，特别是用户的使用要求确定 Z_1/Z_2。表 4-3 列出定子外径 $D_1\leqslant250\sim300$mm 的小型笼型三

相异步电机在综合考虑振动、噪声、附加转矩及附加损耗后的 Z_1/Z_2 的实例。

表 4-2　槽配合及斜槽对电动机噪声级的影响　dB (A)

	Z_2		11	14	15	17	19	20	22	23	25	26
1. $2p=4$	$Z_1=24$	$b_{sk}=0$	69	71	61		80	68	69	74	80	73
		$b_{sk}=t_{z1}$	57	55	59		60	64	60	60	60	57
	$Z_1=18$	$b_{sk}=0$	62	57	59	70	79	57	62	62	63	61
		$b_{sk}=0.75t_{z1}$	47	42	48	46	43	49	47	45	45	44
	$Z_1=12$	$b_{sk}=0$				53	64	75	58	59	72	75
		$b_{sk}=0.5t_{z1}$				49	54	59	54	46	49	54
2. $2p=6$	Z_2		19	21	23	26	32	33	44			
	$Z_1=36$	$b_{sk}=0$	71		78	65	74	61	67			
		$b_{sk}=t_{z1}$	63		64	62	62	59	57			
	$Z_1=18$	$b_{sk}=0$		74		72	73					
		$b_{sk}=0.5t_{z1}$		63		65	66					

注：b_{sk}为转子斜槽距离，t_{z1}为定子齿距。

表 4-3　定、转子槽配合表

Z_1	Z_2	$2p$
24 30	(16),[20],[22],(28),[30] (16),[20],(22),[16],[34],[36]	2
36 48	[24],26,[28],30,([32]),42,(44),[46] (32),34,[36],38,[40],([44]),(56),58,[60]	4
36 54	24,[26],[46] 38,40,[44],[64],66,[68]	6
48 72	34,[62] 50,52,54,[56],58,86,88,[90]	8

注：1. 带 () 的表示在制动区有大的同步附加力矩。
2. 带 [] 的表示转子斜过一个定子齿距时可以使用。

4-6　从降低电磁噪声考虑，如何采用斜槽？

定子或转子斜槽可使径向力波沿电机长度方向的轴线发生相

位移，使得沿轴向平均径向力降低，从而降低电机的振动和噪声。转子扭斜时，沿转子外圆扭一个定子齿距；定子扭斜时，则扭一个转子齿距。

对于100kW以下的笼型异步电机，斜槽是降低噪声的有效措施。

转子扭斜后噪声降低的数值 ΔL 可用下式计算

$$\Delta L = 20\lg K_{sk} \quad [\mathrm{dB(A)}] \tag{4-6}$$

式中 K_{sk}——斜槽系数，$K_{sk}=\dfrac{\sin(\mu\pi b_{sk})/(Z_2 t_2)}{\mu\pi b_{sk}/(Z_2 t_2)}$；

b_{sk}——沿转子外圆扭斜弧长；

t_2——转子齿距；

μ——转子绕组谐波次数；

Z_2——转子槽数。

若为定子扭斜，将 K_{sk} 公式中的 μ、Z_2、t_2 用 γ、Z_1、t_1 代入即可。

由于这种扭斜容易引起附加轴向力，且在消除同步附加转矩和切向振动上不够彻底，近年来在中小型异步电机上又有采用“人字扭斜”的趋势，见图4-2。

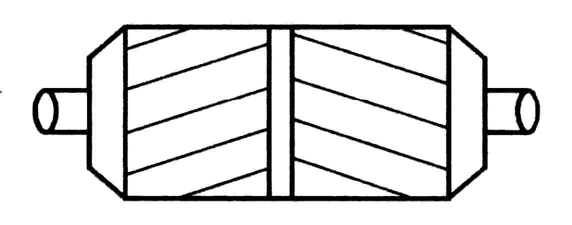


图4-2 “人字扭斜”转子

德国西门子公司纽伦堡电机厂，将1989年投放市场的中小型笼型异步电机的铸铝转子除几百千瓦以上的少数规格外均改为人字扭斜的。中间用10mm的短路环将两段扭斜方向相反，并各扭斜一个定子齿距的1/2的转子连在一起，两段转子在中间错开半个转子齿距。

转子扭斜获得的降低噪声效果也很明显。在有些产品上试验，电磁噪声降低了8～20dB[4]。

4-7 增大气隙对降低电磁噪声有何效果?

适当地加大气隙 δ 可以减小谐波磁场的幅值；减小气隙的不均匀度，能使径向力波的幅值降低，这些都可使电磁振动及噪声随之降低。Sperling 公司在 350kW 异步电机上将 δ 由 1.0mm 增至 1.5mm 后，其主要电磁噪声（1700Hz）降低了 5dB。δ 由 δ_1 增至 δ_2 后降低的噪声值 ΔL 可由下式计算

$$\Delta L=40\lg\left(\frac{\delta_2}{\delta_1}\right) \quad [\mathrm{dB(A)}] \tag{4-7}$$

由上式计算在 ΔL 与初始值 δ_1 选得是否合适有关，故与实测结果相比往往有误差，但作为分析，特别是定性分析，是完全可以的。确定 δ 值也与确定 Z_1/Z_2 类似——要兼顾多种制约因素。减小气隙不均匀度是制造的问题，应该按图样要求严格控制有关零部件的不同轴度。

4-8 降低气隙磁密对降低电磁噪声有何效果?

因为径向力波幅值与 B_δ^2 成正比，所以降低 B_δ 可以降低电磁振动、噪声。当 B_δ 由 $B_{\delta1}$ 降至 $B_{\delta2}$ 时降低的噪声为

$$\Delta L=40\lg\left(\frac{B_{\delta1}}{B_{\delta2}}\right) \quad [\mathrm{dB(A)}] \tag{4-8}$$

公式的形式与 δ 增大时类似，其计算结果也同理：ΔL 的计算值与实测结果间的误差和初始值 $B_{\delta1}$ 的大小以及电机磁路的饱和程度有关。但此公式对设计者来说同样重要，它可以提示设计者，在电机的使用部门对噪声提出苛刻的要求时，尽可能选取低的 B_δ。

B_j、B_t 也不能过高，否则它们会起推波助澜的作用。比如，若齿磁密过高，使齿部磁路饱和，而使气隙磁密的分布变为平顶波，即气隙磁场中将含有高次谐波。于是饱和时，除产生极对数 $n'=p$，频率 $f'=f$ 的正常力波外，还要产生极对数为 $n'=p\pm 2pj'$，频率为 $f'=f\pm 2f_1j'$ 的力波，并产生相应的振动和噪声（$j'=1, 2, 3\cdots$；$f=f_1$ 为基波频率；p 为极对数）。

4-9 缩小槽口宽度或采用磁性槽楔对降低噪声有何效果?

缩小定、转子槽口宽度，或采用闭口槽、采用磁性槽楔，可

以减小气隙磁导谐波，可获得降低电磁振动及噪声的效果。

据参考文献介绍，260kW 电机采用磁性槽楔后噪声由 95dB 降至 90dB。

4-10 绕组及节距的选择对降低电磁噪声有何影响？

从降低噪声角度选择绕组的形式及绕组节距的出发点是设法减少其磁动势波形中的谐波含量。

从这点考虑应优先采用双层绕组及正弦绕组。后者的双层绕组部分的节距也应取 5/6～4/5。

但单层绕组因具有节省铜线、绝缘材料，散热好，嵌线效率高的优点，仍被广为采用。这就需要设计者进行综合分析后择定。比如，若对噪声有严格要求时，就应抛开单层绕组的以上优点，选择双层或正弦绕组。德国西门子公司的纽伦堡电机厂，为使上述优点见到效益而广泛采用单层绕组，同时为补救它的谐波含量高的不足，全面采用“人字扭斜”的铸铝转子，使振动噪声值不超过标准规定。

4-11 绕组接法对降低电磁噪声有何影响？

在绕组的接法上充分地考虑磁场分布的对称性。为了“对称”，尽量使并联路数 $a=2p$（极数）；或如果 $a<2p$，在串联每路绕组时应采用隔极相连。若采用均压线则效果就更好。

在三相 4 极的电机上进行的试验，采用 4 路或 2 路比 1 路时噪声要降低几分贝至十几分贝[7]，见表 4-4。

表 4-4 4 极电机在采用 2 路、4 路接法的噪声降低值

并联路数，接法 \ 与1路相比噪声的降低值/dB \ 频率/Hz	1000	1100	1200	1300	1400
2 路，邻极相连，有均压线	9.0	10.7	8.3	9.5	10.9
2 路，邻极相连，无均压线	6.7	2.5	5.3	2.8	2.1
4 路	10.5	14.8	16.9	13.1	12.6
2 路，隔极相连，无均压线	2.5	1.5	1.8	1.1	9.3

4-12 铁芯轭尺寸对降低电磁噪声有何影响？

定子铁芯的轭部应尽量高。增加定子铁芯轭高 h_{j1} 是为了提高其刚度。当铁芯产生振动时，其振动幅值近似与 h_{j1}^2 成反比[7]；又由于声功率正比于振幅的平方，则当 h_{j1} 由 h_{j11} 增加至 h_{j12} 时，可使噪声近似地降低

$$\Delta L = 10\lg\left(\frac{h_{j12}}{h_{j11}}\right)^6 = 60\lg\left(\frac{h_{j12}}{h_{j11}}\right) \quad (\text{dB}) \qquad (4\text{-}9)$$

上式提示设计者 h_{j1} 对噪声有较大影响。在设计时，根据具体情况，不能单凭轭部磁密的允许范围选取 h_{j1}。比如，若从径向尺寸的安排上还有余地，或者机座比较单薄，或者使用部门对噪声指标要求严格，就应该适当地增加 h_{j1}。

4-13 铁芯装压对降低电磁噪声有何影响？

为使磁场均匀分布应将铁芯叠片交错叠装，不均匀的磁场会产生 2 倍转差频率的电磁噪声。为减小因硅钢片各向不均匀性破坏铁芯磁场的对称性，冲片宜打乱硅钢片的轧制方向叠装。对于定子铁芯，冲槽前可将一台电机的方料分成几摞（中小型电机可分 4 摞），冲槽时各摞冲片之间保持互不相同的轧制方向；对于铸铝转子，在叠片时不必分摞，而将方料轧制方向打乱后冲槽即可。打乱得越彻底，效果越准。若转子冲片上带键槽的轴孔与定子冲片是一次冲成的，则只能按定子的摞数依次冲槽、叠装。

在小电机的转子上试验：打乱硅钢片轧制方向叠装与不打乱轧制方向的相比，装成电机后试验，在 1039～1339Hz 的声频范围内噪声平均降低 10dB[7]。

4-14 怎样避免因共振产生的电磁噪声？

以电磁噪声为主的电机所产生的共振现象，若能避免则可大大地降低其噪声。

（1）判断一台电机是否存在共振现象的一般步骤如下。

① 列出电机气隙磁场产生的力波表，找出主要力波，计算主要力波的频率和阶数。

② 估算电机的固有频率。

③ 检验主要力波的频率和固有频率是否接近或一致，当两者相对的差值在5%以内时，即认为将发生共振现象。

(2) 避免产生共振的措施

共振现象的发生可能是定子的共振、端盖的共振、转子的共振，甚至整机的共振，但产生共振的可能性最大、危害性也最大的是机座与铁芯构成一体后的“定子共振”。以下的措施及计算都是针对定子而言的。

① 提高定子刚度，可分别从铁芯及机座上采取措施。

② 提高力波阶数，可通过选择合适的槽配合等措施实现。

③ 按以下方法对固有频率进行测算，采取措施避开共振的频率范围。

(3) 定子固有频率 f_n 的计算

封闭式电机，并且铁芯与机座又是紧紧地配合成一体的结构在中小型异步电机中占绝大多数，其定子的固有频率计算表达式为

$$f_n=\frac{n(n^2-1)}{\sqrt{n^2+1}}\sqrt{\frac{g\left(\frac{E_1h_1^3l_1}{R_1^3}F_{n1}^2+\frac{E_2h_2^3l_2}{R_2^3}F_{n2}^2\right)}{24\pi(m_1+m_2)}}\text{(Hz)} \quad (4\text{-}10)$$

式中 n——力波阶数；

g——重力加速度，$g=980\text{cm/s}^2$；

E_1——铁芯的弹性模量，$E_1=2.0\times10^7\text{N/cm}^2$；

E_2——铸铁机座弹性模量，$E_2=1.029\times10^7\text{N/cm}^2$；钢板机座时，$E_2=E_1$；

h_1，h_2——计算惯性矩时铁芯、机座断面的厚（高）度，cm；

l_1，l_2——铁芯、机座的长度，cm；

R_1，R_2——铁芯、机座的平均半径，cm；

m_1，m_2——铁芯（包括绕组）、机座的质量，kg；

F_{n1}，F_{n2}——系数，分别按 h_1/R_1，h_2/R_2 及力波阶数由图4-3查取。

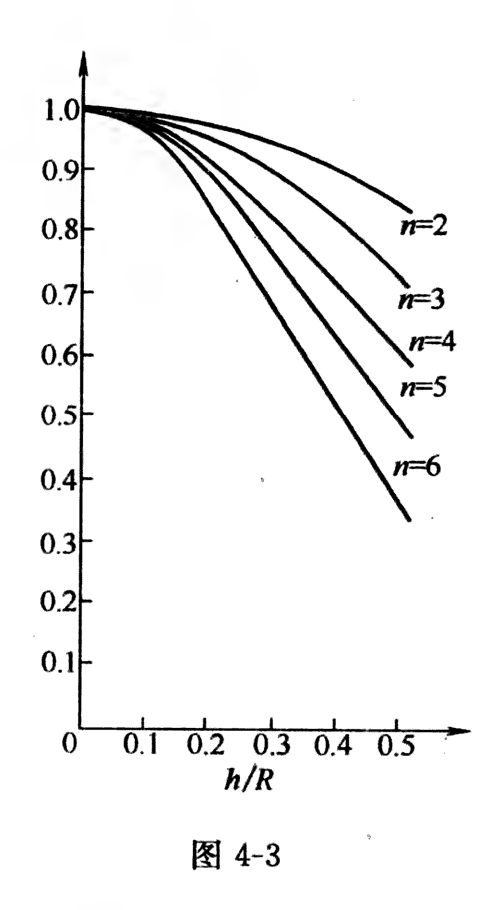


图 4-3

4-15 怎样减少噪声的辐射？

（1）提高定子铁芯和机座连接的弹性程度。这主要是针对大中型电机，机座与铁芯采用借助于纵筋连在一起的结构。

（2）加阻尼措施。比如在铁芯与机座之间填充铝粉或环氧树脂之类的阻尼材料（这主要是针对外装压铁芯，装压前将阻尼材料涂在铁芯外圆表面）。

（3）尽量将电机设计成短粗的。从减少声音辐射量考虑，短粗电机比细长的有利。但确定这一比例关系（l/τ）的因素很多，特别是系列产品，不允许随意选择 l/τ。如果条件具备，比如电机尺寸可以随意设计，噪声又被限制得很严，这也不失为一项措施。

4-16 怎样降低机械噪声？

因噪声与振动关系密切，针对表 4-1 所分析的原因提出对应的降低机械噪声的措施。有些措施从表 4-1 的分析中可直接找到，比如集电环处摩擦声，可从表中直接找到相应的对策，即调

整碳刷牌号、改善滑环表面的粗糙度、提高平衡精度可以降低因不平衡带来的噪声等。轴承噪声是主要的机械噪声，需要补充以下降低措施。

① 选用低噪声滚动轴承，可选用型号加Z的国产的低噪声滚动轴承或者带有工程塑料保持器的轴承。

② 不要采用过稠的润滑脂，过稠的润滑脂容易引起干摩擦而产生噪声。

③ 在轴承套圈的滚道中不存在因润滑脂氧化或干涸而积聚的渣子。

④ 在轴承处增设减振措施，如外套上加波形弹性垫片。

⑤ 在噪声要求十分严格的场所中应考虑选用滑动轴承。

4-17 通风噪声产生的原因有哪些?

（1）风扇高速旋转时，空气质点受到风叶周期性力的作用，产生压力脉动而引发旋转噪声。

其频率 f_b 是叶片每秒打击空气质点的次数

$$f_b = kZ_bn/60 \quad (\text{Hz}) \tag{4-11}$$

$$(k=1, 2, 3\cdots)$$

式中 Z_b——风扇叶片数；

n——电机转速，r/min。

（2）空气涡流产生的噪声。它是由于风扇或转子上旋转的零部件在旋转时产生的气流遇到障碍物，使风路截面剧变或气流方向突变而引发的涡流所产生的噪声。其频率为

$$f_A = Sh\frac{v}{D}i \quad (\text{Hz}) \tag{4-12}$$

$$(i=1, 2, 3\cdots)$$

式中 Sh——为“斯脱哈立数”[4]，$Sh=0.14\sim0.20$，一般取0.185；

v——为气流与所遇到物体的相对速度，m/s；

D——为物体的正表面宽度在垂直于气流矢量平面上的投影，m。

（3）笛声，顾名思义，它是气流遇到尖角或筋状物时发出的

尖啸声。

比如由外风扇吹出的气流与机座上的散热片相遇时则要产生以下频率的噪声

$$f_d = M\frac{n}{60} \quad (\text{Hz}) \tag{4-13}$$

式中 M——风扇叶片和散热片的最小公倍数。

在径向或混合式通风的电机中，若定、转子径向通风道是对齐的，则由转子径向风道中的转子导条或通风槽管（它相当于叶片数等于转子槽数 Z_2 的离心式风扇）排出的气流吹到定子径向通风道，与其通风槽片相遇时也要发出笛声，其频率为

$$f_d = k\frac{Z_2 n}{60} \quad (\text{Hz}) \tag{4-14}$$

$$(k=1,\ 2,\ 3\cdots)$$

铜条转子伸出铁芯部分的导条所产生的气流吹到定子绕组端部上时也产生频率与上式相同的噪声。

4-18 怎样计算通风噪声？

对通风噪声只能采取以下近似计算法。

（1）对于采用离心式外风扇的封闭式电机，其声功率级的通风噪声为

$$L_{wf} = 60\lg v_1 + 10\lg D_1 b - 25D_1 + 5\lg\frac{S_F}{S_0} + 20\lg\frac{N}{N_0} + 18 \quad [\text{dB(A)}] \tag{4-15}$$

式中 v_1——风扇叶片外缘周速，m/s；

b——风扇叶片宽度，m；

D_1——风扇叶片外径，m；

S_F——风罩进风口面积，m^2；

S_0——风罩进风口给定基准面积，m^2；

N——风扇叶片数；

N_0——模拟风扇的叶片数，$N_0=6$。

（2）当已知一台电机的噪声 L_1，风扇外径 D_1、风扇叶片宽

b_1、电机转速为 n_1 及风扇的气流效率 η_1，估算另一台电机的噪声（相应代号的下标为“2”）时可参照下式（两台电机的结构相似）

$$L_2=L_1+70\lg\frac{D_2}{D_1}+50\lg\frac{n_2}{n_1}+10\lg\frac{b_2}{b_1}+10\lg\frac{(\eta_2-1)\eta_1}{(\eta_1-1)\eta_2}\quad[\mathrm{dB(A)}]\tag{4-16}$$

由上式可得到以下结论：风扇外径减小 10%，噪声降低 3dB（A）；转速降低 10%，噪声下降 2dB（A）；风叶宽减小 10%，噪声降低 0.4dB（A）；风扇的气流效率由 0.3 提高到 0.4，噪声可降低 1.9dB（A）[4]。可见减小风扇外径对降低通风噪声取得的效果较大，从降低损耗角度出发也得到同样结论。

（3）风量 Q、风阻 Z 对噪声的影响，当一台电机的噪声、风量、风阻分别为 L_1、Q_1、Z_1，若两台电机结构相似，则由第二台电机的相应值（Q_2、Z_2），可估算其噪声为

$$L_2=L_1+50\lg\frac{Q_2}{Q_1}+20\lg\frac{Z_2}{Z_1}\quad[\mathrm{dB(A)}]\tag{4-17}$$

可见，若风量减半，噪声能降低 15dB（A），若减少 20%，噪声可降 5dB（A）；若风阻减半，噪声可降 6dB（A）。

4-19 如何抑制通风噪声？

降低通风噪声主要从抑制声源及消声两方面采取措施。

（1）合理确定风量

由以上分析得知，风量对通风噪声影响较大。

（2）选择合适的风扇类型及尺寸

从降低噪声角度出发，轴流式优于离心式（见表 4-5），离心式中又以后倾式为好；在可逆转的离心式风扇中，选盆式风扇有利。上海电器科学研究所在 JO2、13kW、2 极（中心高 160mm）电机上试验，盆式风扇（外径 250mm）的叶片后倾 30°时，噪声比原来可正反转的降 2.3dB（A）；后倾 45°时，降 3dB（A）。

表 4-5　在 BJO2 封闭式 75kW、2 极（中心高 280mm）电机上试验的两种风扇效果

项目 \ 电机编号	1 号样机		2 号样机	
风扇形式	离心式	轴流式	离心式	轴流式
风扇消耗的功率/W	2350	620	1810	460
风摩耗/W	3180	1450	2640	1290
电机效率/%	90.57	92.59	91.19	92.62
定子绕组温升/℃	58.8	56.4	59.7	61
声功率级噪声/[dB(A)]	104.25	96.3	104.12	96.87

（3）按空气动力学合理地设计风路

电机的进、出风口、风罩、挡风板、散热片、端盖、机座及其上的吊攀、接线盒座、底脚辐板以及风扇的叶片形状等都要按空气动力学的原理精心设计：风路畅通；障碍物表面尽量设计成流线型；避免容易产生振动的零件在风路中出现。离心式风扇外缘与风罩间的间隙不宜过小，否则会产生“哨声”，但太大又会使回风的涡流声增大；轴流式风扇的外径与风罩间的径向间隙对噪声影响很大，因此间隙对气流性能——风压、风量及风扇的气流效率均有较大的影响，所以选择时应慎重。此间隙小，气流性能好，但噪声大；反之亦然。

（4）采用水冷（ICW37A71）、他冷（IC37）或自然冷却（IC0041）

（5）采用特殊风扇

① 当叶片频率噪声突出时可采取改变叶片数、不等距叶片或不等长叶片来解决。

据参考文献［4］介绍，一台 J2H71-2 的电机，原风扇为 9 叶，在 450Hz 附近因“共振”出现峰值噪声达 96～99dB（A），改用 7 叶后就降为 350Hz 时 74dB（A）。总噪声亦随之明显降低。

② 采用“间隙式”风扇[4]。

（6）采取消声措施

目前在电机上采用的消声措施花样较多，但绝大部分是采用

加消声器的办法来降低噪声。

消声器装于气流通道中，在保证气流通过的同时，能阻止或减弱声能传播而使噪声降低。

消声器有阻式、抗式及阻抗复合式三种。目前在电机上采用的是阻式[4]。

阻式消声器，在电机上也称为“消声罩”。它是将风路的通道内壁用吸声材料或吸声材料加多孔材料（如筛板）覆盖起来以消耗声音的能量而达到消声的效果。因它消耗声能类似电阻消耗电能，故称为“阻”式消声器。

因阻式消声器对中频噪声有较好的消声效果，特别是对通风噪声、笛声的消声效果最佳而被电机行业广泛采用。它的消声量 ΔL 与所用吸声材料的吸声系数 α，由吸声材料构成的通道的长度 l，通道内壁的周边长 V 及通道横截面面积 A 呈如下的关系[4]

$$\Delta L=(1.3\sim1.5)\alpha l\frac{V}{A}\quad[\mathrm{dB(A)}] \tag{4-18}$$

尽管由上式看出 A 越小消声效果越好，但 A 值不宜过小，即风道不宜过窄。否则会使冷却气流的温度增高，影响散热效果。

吸声材料衬层厚度取 30～60mm 即可。目前在国内见到的国内外的样机一般都在 40～50mm 左右。吸声材料不宜采用对人体有危害的填料，如玻璃纤维，因为它在使用中要泄漏出来。无危害的材料如泡沫塑料就很受欢迎。

电机的消声器（罩）可由三部分、两部分或一部分组成。“一部分”是指仅在外风扇端将风罩设计成消声的；“两部分”是指消声风罩再加上覆在机座上的盖板，见图 4-4。

“三部分”是指再在轴伸端加上消声“尾罩”，它兼起冷却轴承的作用。为便于监测轴承及拆装联轴器，可以将它设计成下部带缺口能自由拆装式的，见图 4-5。

“尾罩”的消声效果不明显。原佳木斯电机厂在 200kW、2 极高压电机上试验，加与不加“尾罩”相差仅 1～1.5dB（A）。但前两部分效果明显，合在一起能使噪声降低约 10dB（A）。

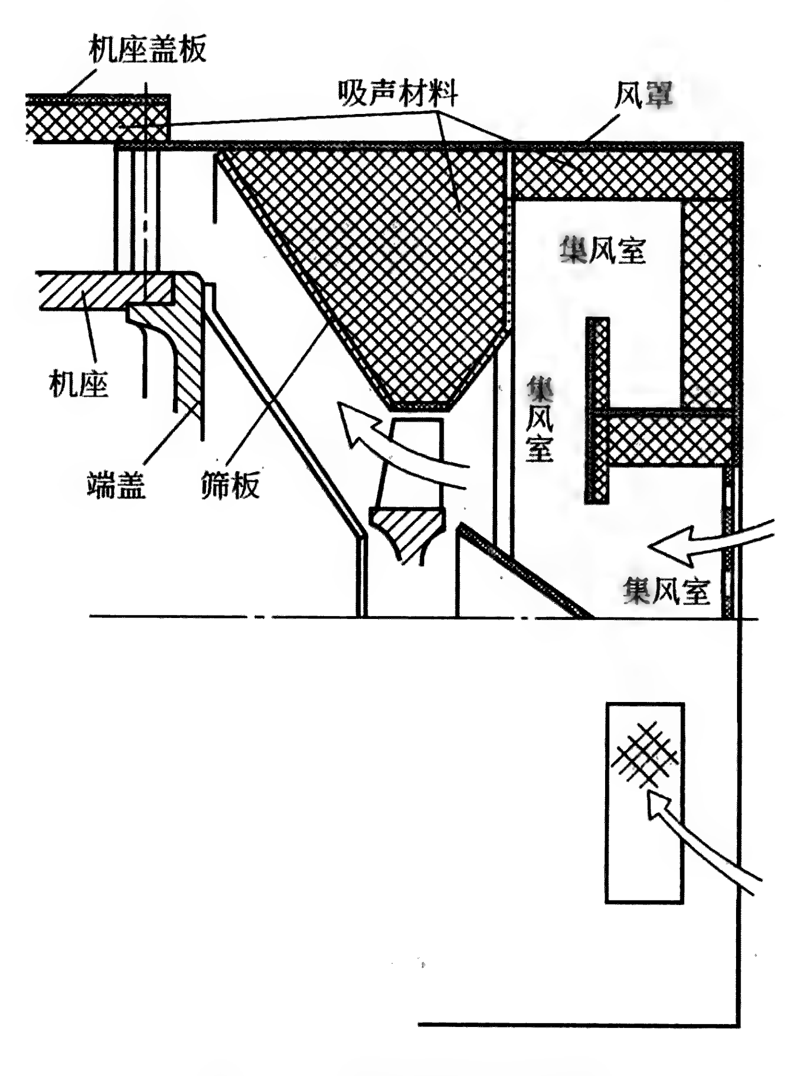


图 4-4 电机消声器的组成

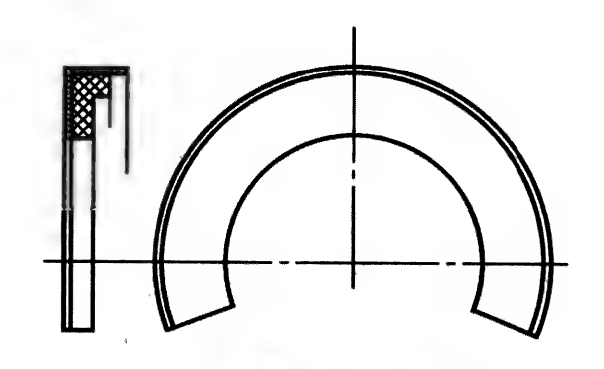


图 4-5 下部带缺口的“尾罩”结构

第五章　发热、冷却与通风、散热

5-1　计算定子绕组温升怎样入手？

（1）求将定子作为均匀发热体时电机表面温升 θ_s 的表达式

定子可以视为一均匀发热的物体，当发热与散热在某一温度下达到平衡状态时，电机表面温升 θ_s 可用下式表示

$$\theta_s = \frac{Q}{\alpha S} \quad (K) \tag{5-1}$$

式中　Q——稳态时单位时间定子所产生的热量，W；

α——定子表面的传热系数，W/(K·cm²)，见表 5-1；

S——定子表面面积，cm²。

表 5-1　表面传热系数

散热表面的状况	α/[W/(K·cm²)]
涂漆的电机表面（钢或铸铁机座、端盖等）	1.42×10^{-3}
仅涂防锈漆的钢或铸铁表面	1.67×10^{-3}
涂层较厚的金属表面、铁芯表面	1.33×10^{-3}

式（5-1）表明：无外风扇的电机的表面温升与定子产生的热量成正比；与散热系数、散热面积成反比。其中散热系数 α 与电机表面状况有关，电机在使用中若表面积有灰尘、污垢使 α 变小，从而使温升增高。

（2）求计入定子本身散热途径中各部分温度降之后的定子绕组温升

空气冷却的电机的散热主要由两大途径——固体之间及固体与气体之间构成。

① 固体之间温度降[9]　固体之间温度降粗略地可以看成由

两部分组成——绝缘层中（包括浸渍漆及漆膜）及铁芯中（机座与铁芯可视为一体）。

a. 绝缘层中的温度降 θ_i

$$\theta_i=\frac{Q\delta_i}{S\lambda}\quad (K) \tag{5-2}$$

式中 Q——由绕组产生并经绝缘传出的热量，W；

δ_i——绝缘层厚度，cm；

S——绝缘部分散热面积，cm^2；

λ——热导率，W/(K·cm)，见表 5-2。

表 5-2 电机常用材料及空气的热导率 λ W/(K·cm)

材料	λ	材料	λ
铸铁	0.3～0.46	玻璃纤维	0.007
钢	0.4～0.46	云母绝缘制品	0.0029～0.003
合金钢	0.33～0.40	玻璃层压板	0.0025～0.004
硅钢片(沿钢片方向)	0.41～0.48	绝缘漆层	0.0014～0.0016
硅钢片(跨漆膜方向)	0.034～0.037	热塑性塑料	0.0017～0.0027
电解铜	3.90	合成树脂	0.002～0.003
纯铝	2.20	绝缘纸	0.0008～0.002
黄铜	1.10	空气	0.00025～0.0003

将公式中的 Q 用相应部分的定子铜耗 P_{Cu1}（W）代入，即为该处绝缘层中的温度降。如计算槽部

$$\theta_i=P_{Cu1}\frac{\delta_i}{S\lambda}\left(\frac{l}{l_c}\right)\quad (K) \tag{5-3}$$

若计算端部

$$\theta_i=P_{Cu1}\frac{\delta_i}{S\lambda}\left(\frac{l_E}{l_c}\right)\quad (K) \tag{5-4}$$

式中 l——铁芯长，cm；

l_c——半匝线圈平均长，cm；

l_E——半匝线圈端部平均长，cm。

计算时，若槽部 δ_i、S、λ 与端部的不同，则代入 θ_i 公式时应分别取值。

b. 铁芯表面的平均温升 θ_{Fe}

$$\theta_{Fe}=\frac{Q}{\alpha S}=\frac{\sum P}{\alpha S}=\frac{(P_{Fe}+0.5P_s)+P_{Cu1}\left(\frac{l}{l_c}\right)}{\alpha S}\quad (K)\qquad (5\text{-}5)$$

$$S=\pi D_{i1}l\quad (cm^2)$$

式中 S——定子铁芯内圆面积，cm；

P_{Fe}——铁耗，W；

P_s——电机的杂散损耗，W；

P_{Cu1}——定子铜耗，W。

② 绕组端部表面对空气的温升 θ_e[9]

$$\theta_e=\frac{P_e}{\alpha_e S_e}\quad (K)\qquad (5\text{-}6)$$

式中 P_e——端部绕组铜耗，$P_e=P_{Cu1}l_E/l_c$，W；

α_e——端部表面的散热系数；

S_e——端部绕组表面积，$S_e=L_1 l_E Z_1$，cm²；

L_1——为绝缘线圈断面的外缘周长，cm。

③ 定子绕组温升 θ_1[9]

$$\theta_1=\theta_{CuF}l+\theta_{CuE}l_E/(l+l_E)\quad (K)\qquad (5\text{-}7)$$

式中 θ_{CuF}——绕组有效部分温升，$\theta_{CuF}=\theta_{Fe}+\theta_i$，K；

θ_{CuE}——绕组端部温升，$\theta_{CuE}=\theta_e+\theta_i$，K。

（3）计入转子辐射热之后的定子绕组温升[10]

转子对定子的热辐射对定子绕组的温升 θ_1 有一定影响，尤其对冷却方式为 IC0141 的封闭式电机，这已为实践所验证。但目前国内有关电机设计方面的书籍上，在计算 θ_1 时均未将转子的热辐射计入，这是 θ_1 的计算值与试验值间误差较大的原因之一。德国西门子公司将转子热辐射（用计入转子铜耗 P_{Cu2} 来考虑）计入后，经试验修正得出以下 θ_1 的计算公式

$$\theta_1=\frac{K_1P_{Fe}+P_{Cu1}+K_2P_{Cu2}}{\alpha S}\quad (K)\qquad (5\text{-}8)$$

$$S=\frac{\pi D_1^2}{2}+\pi D_1 l\quad (cm^2)$$

式中 α——用定子温升实测值统计数据按上式反算后求得的经验系数，W/(cm²·K)；

D_1——定子铁芯外径，cm；

l——铁芯长（计及通风沟），cm；

K_1，K_2——经热路计算及试验获得的修正系数，求法见文献[10]。

将三种损耗（其中 P_{Fe} 为总铁耗）均纳入 θ_1 的表达式之中是符合实际情况的。K_1、K_2 是与电机结构、工厂采取的制造工艺均有关的系数。当将 K_1、K_2 及 α 在典型结构上经过修正确定下来之后，用该公式计算同类产品的其他规格时，算得的 θ_1 与试验值之间的误差就很小。

5-2　怎样对定子绕组温升进行分析、估算？

因目前国内尚无与试验结果比较吻合的温升（指 θ_1）计算公式，所以异步电机的设计人员基本上都是用分析、估算的办法确定所设计产品的温升。

分析、估算的办法是将所设计的产品的电磁负荷、热负荷及散热面积与已有试验结果的同类产品相比较。其中定、转子电密 J_1、J_2，因温升与它们的平方成正比，对 θ_1 影响较大。若所参照产品的 θ_1 较高或较低，可用上述的平方关系调整所设计产品的 J_1、J_2。定、转子线负荷 A_1、A_2 与 θ_1 成一次方的比例关系；B_g 则随产品类型的不同有一定的选择范围，不宜大幅度地增、减。

除上述的规律外，在借助于分析、计算确定所设计的电机的方案时，还应注意以下几点。

① 在系列产品设计时，为保证“系列性”，个别规格的电磁负荷会选得较低或略偏高。

② 应注意工艺上对 θ_1 有影响的因素，如浸渍方法，铁芯加工水平等。

③ 注意电磁负荷分配的合理性。

④ 注意散热面积，在同一机座号的不同长度电机中，若 $P_{N1}>P_{N2}$，且采用 IC0141 的散热方式，应使 l_1/l_2 略大于 P_{N1}/P_{N2}，即散热面积的增加幅度应略大于功率的增加幅度，否则应

降低电磁负荷、热负荷。

⑤ θ_1 应按工厂的具体情况留有一定的裕度，对于新设计的待定型的产品，至少应留有 10K 的裕度。

5-3 通风计算的目的是什么？

通风计算的目的是用电机发热损耗核算所需的风量，再根据典型风扇的特性曲线图 5-3 确定风压，在此基础上，参照同类产品将风扇、风路的形状、尺寸确定下来。通风计算可以在确定设计方案之前或之后进行。后计算亦有必要，一是起核算作用；二是通过计算也可能发现某些问题，为调整某些尺寸提供依据。对于简单产品一般不进行通风计算。

5-4 怎样求所需的风量 Q？

绝大部分异步电机的冷却介质都是空气，为了将电机损耗所产生的热量由冷却空气带走，所需的风量为

$$Q=\frac{\sum P}{\gamma c\Delta\theta}\quad(\mathrm{m^3/s})\tag{5-9}$$

式中 $\sum P$——需经空气带走的损耗热量，即除机械损耗以外的各种损耗，kW；

c——空气比热容，$c=1\mathrm{kJ/(kg\cdot K)}$；

γ——空气密度，$\gamma=1.23\mathrm{kg/m^3}$，因 γ 随温度而变，计算时应取在电机中空气的平均温度，如 40℃时，$\gamma\approx1.092\mathrm{kg/m^3}$；

$\Delta\theta$——空气通过电机后升高的温度，K。

若将空气的 c、γ 值代入上式，则 $Q=\sum P/(1.1\Delta\theta)(\mathrm{m^3/s})$。$\Delta\theta\approx10\sim20\mathrm{K}$——对于冷却方式为 IC0151 电机；$\Delta\theta\approx5\sim10\mathrm{K}$——对于冷却方式为 IC0141 的电机。

5-5 怎样用所需的风量、风压选择、计算风扇尺寸？

目前靠空气冷却的电机，其风扇主要有两种：离心式、轴流式，见图 5-1。

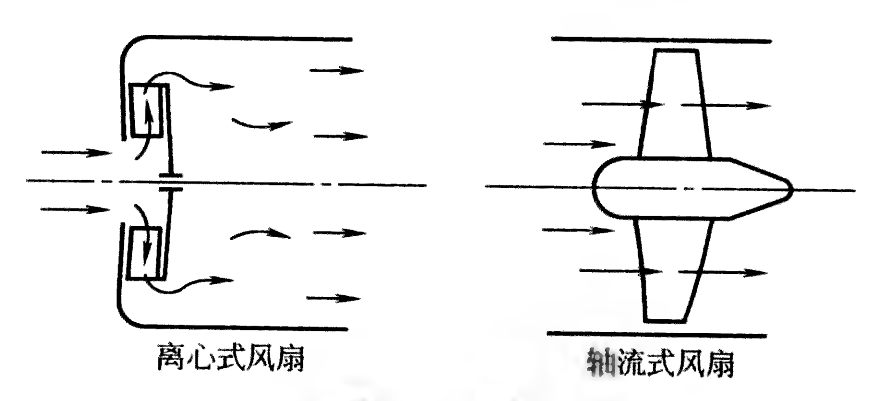


图 5-1　离心式及轴流式风扇

离心式风扇风压高、风量小、效率低，适用于低速电机；轴流式则风压小、风量大、效率高，适用于大中型高速电机。

（1）离心式风扇

离心式风扇分为可逆转和不可逆转的，后者又分为叶片后倾式和叶片前倾式两种，见图 5-2。

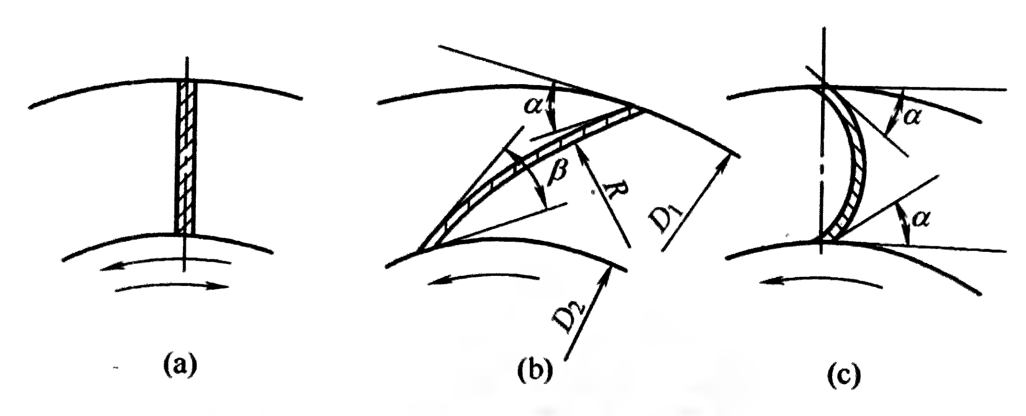


图 5-2　三种离心式风扇

在图 5-2 三种离心式风扇中，图 5-2（a）的损耗大，可用于较低速和可逆转电机上；图 5-2（b）的损耗小，但只能用于不允许逆转的高速电机上；图 5-2（c）的损耗也较大，加上噪声比图 5-2（b）大，所以不如图 5-2（b）用得广泛。

以上是选择离心式风扇的主要原则。下面介绍用风量 Q、风压 H 确定离心式风扇尺寸的步骤。

① 由离心式风扇特点绘出特性曲线。离心式风扇，不管是三种中哪一种，其特性曲线 $H=f(Q)$ 的形状都是相似的，并且随着叶片的三种布置方法的不同，$H=f(Q)$ 曲线之间的差异也呈相同的规律，在有关的资料中均可查到，设计者只需按算得的

Q、H 值确定坐标上按实际值的分度比例尺即可。因 $H=f(Q)$ 呈一定的规律，其各自的风扇效率曲线 $\eta=f(Q)$ 的形状也按一定的规律变化。图 5-3 是三种离心式风扇的典型$H=f(Q)$ 及$\eta=f(Q)$ 曲线，其纵坐标、横坐标是分别以 H_0、Q_{max}为基值的标么值标定的。

② 由发热损耗算出所需的风量 Q

$$Q=\sum P/(\gamma c\Delta\theta)$$

③ 由所需的 Q 按特性曲线求得的 Q_{max}（以风扇效率最高为目标）与按初步选取的 D_1、b 算得的 Q_{max}相比后确定 D_1、b。Q_{max}是外界没有气体阻力，即在风扇处于“短路”（$H\approx0$）状态时的最大风量，见图 5-3。

对于 a　　$Q_{max}\approx0.42u_1S_1$（m^3/s）

对于 b　　$Q_{max}\approx0.35u_1S_1$（m^3/s）

对于 c　　$Q_{max}\approx0.5u_1S_1$（m^3/s）

$$u_1=\pi D_1n/60$$

$$S_1\approx0.92\pi D_1b\ (m^2)$$

式中　u_1——风叶外径处圆周速度，m/s；

n——电机转速，r/min；

b——风扇叶的轴向宽度，m。

D_1（见图 5-2）及 b 均为初步选取的风扇尺寸。

Q_{max}公式中的系数与风叶角度β及叶片形状有关。对于 b、c 两种风扇，β 一般取 25°～30°，此时系数如上所示，即分别为 0.35、0.5。

由图 5-3 特性曲线看出，η 最高值出现在$Q/Q_{max}=0.4\sim0.6$ 处，即 $Q\approx Q_{max}/2$ 时。至此，Q_{max}已通过两种途径：用“短路”状态下初选的风扇尺寸 D_1、b 及发热损耗分别求得。若两次算得的 Q_{max}基本接近，说明 D_1、b 选得基本合适。否则，应重新选取 D_1、b。

对应同一 Q_{max} 可用不同的 D_1、b，应参照同类产品，有关的试验研究报告及在总体结构中对风路部分的构思予以最后确定。若查不到参考资料，可以参考风扇机械损耗 P_{fw}、风量 Q 与 D_1、b 的比率关系

$$P_{fw} \propto D_1^4 b$$

$$Q \propto D_1^2 b$$

显然，D_1 不宜过大，否则会使 P_{fw} 剧增，电机效率下降，特别对于高速电机，更要注意这一点。

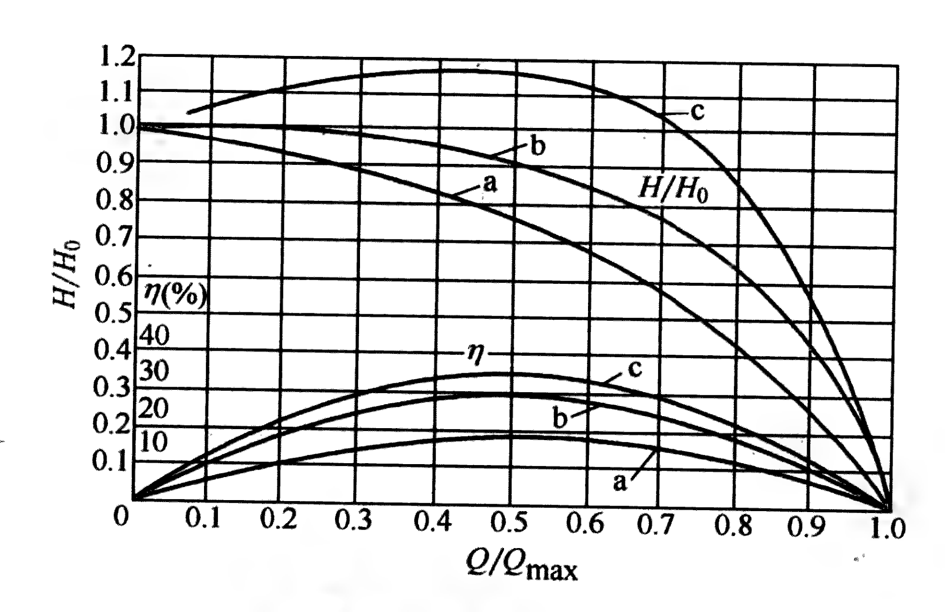


图 5-3 离心式风扇的 Q-H 及 η 曲线

a—可逆式；b—后倾式；c—前倾式

④ 求风压 H_0、H

a. 风扇静压力 H_0

$$H_0 = \eta_0 \frac{\gamma}{g}(u_1^2 - u_2^2) \quad (\text{kgf/m}^2)$$

$$\approx 10\eta_0 \frac{\gamma}{g}(u_1^2 - u_2^2) \quad (\text{Pa}) \tag{5-10}$$

式中 η_0——进风口堵死，即“空载”时的风扇效率，它与风扇工作时最高效率（见图 5-3）不同，见图 5-2，对于风扇 a，$\eta_0 \approx 0.6$；对于风扇 b，$\eta_0 \approx 0.5$；对于风扇 c，$\eta_0 \approx 0.75$；

γ——空气密度，随温度而异，取值同式（5-9）；

g——重力加速度，$g = 9.81\text{m/s}^2$；

u_2——风径内径处圆周速度，$u_2 = \pi D_2 n/60$，m/s；

D_2——叶片根部的平均直径，m，见图 5-2，$D_2 \approx (0.6 \sim 0.7) D_1$。

b. 工作风压 H　在 $H=f(Q)$ 的特性曲线上查与 η_{max} 对应的 H 值，即可近似地认为是工作时的风压值。

⑤ 确定叶片数 N 及弯曲半径 R（见图 5-2）

a. 叶片数 N

$$N\approx\pi\frac{D_1+D_2}{D_1-D_2} \tag{5-11}$$

将算得的 N 值取整，即为参考片数。根据工厂的实践结果，对于转速高的电机，应将求得的 N 值再减少 2～4 片为宜。

b. 叶片弯曲半径 R　R 可由作图求得（见图 5-2）：由 D_1、D_2 及 $\alpha=\beta\approx25°\sim30°$求得。

α 为叶片与 D_1 的交点处沿叶片外缘的切线与沿 D_1 的切线间的夹角；β 则为叶片与 D_2 的交点处沿外缘切线与 D_2 切线的夹角。

叶片的投影形状以图 5-4（b）、（c）为好。此时的 D_1、D_2 及 b 在计算时应理解为各自的平均值。

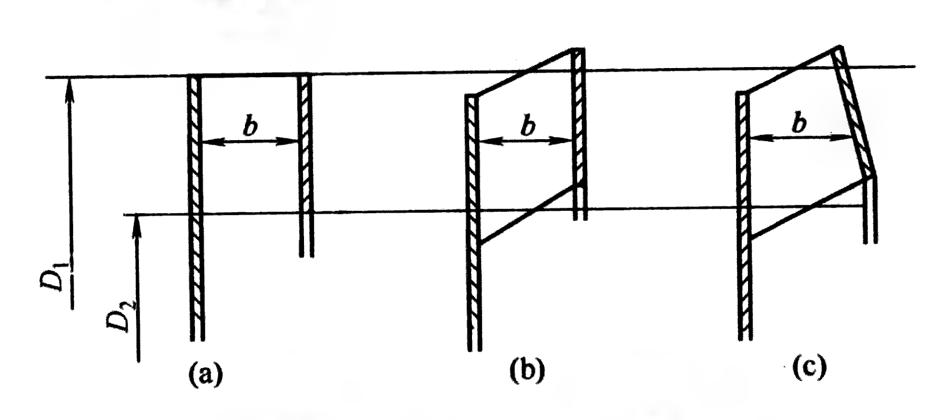


图 5-4　图 5-2 的叶片投影形状

⑥ 用风扇所消耗的功率 P_{fw}，通风系统特性曲线及叶片倾角 β 核算 Q、H 值及风扇有关尺寸。

a. 用 P_{fw} 核算 Q、H 值　P_{fw} 是电机的机械损耗，它是由风扇损耗、轴承部分摩擦损耗及转子铝风叶等产生的风摩耗三部分构成。当封闭式电机不带内风扇时，可以将试验时测得的 P_{fw} 近似地算为风扇损耗。若有内风扇，则应分别计算。外风扇取消时测得的 P_{fw} 可近似地认为是内风扇的损耗，再用内、外同时带风扇测得的 P_{fw} 减去仅带内风扇时测得的 P_{fw} 即为外风扇的。

$$P_{fw}=9.81\frac{QH}{\eta_{max}} \quad (W) \tag{5-12}$$

式中 η_{max}——风扇气流效率的最大值。对于风扇 a，$\eta_{max}=0.15\sim0.2$；对于风扇 b，$\eta_{max}=0.25\sim0.3$；对于风扇 c，$\eta_{max}=0.3\sim0.4$。

若算得的 P_{fw} 与同类产品的试验值相比差别不太大（不超过 $\pm50\%\sim\pm80\%$），即认为 Q、H 值比较符合实际情况，否则应重新复查以上计算过程或所选择的风扇尺寸。

b. 叶片倾角 β　为使空气质点在叶片作用下产生的涡流最小，按参考文献[11]介绍叶片的倾角应为

$$\beta=\arctan\frac{2C_r}{u_2} \tag{5-13}$$

式中，$C_r=Q/S_2$，m/s；$S_2\approx0.92\pi D_2 b$，m^2。

若算得的 β 值能在 $20°\sim40°$ 的范围内，说明 D_2、b 选得比较合适，否则应做适当调整。Q 值因已经核定一次，若 β 值不是相差特别大，就不必再进行调整。

c. 通风系统特性曲线　通风系统的特性曲线指的是除风扇以外的风路部分的 Q、H 关系曲线，即

$$H=ZQ^2 \tag{5-14}$$

式中 Z——风路的风阻，它是将风路各部分风阻按串、并联的规则加在一起后的总风阻。求法见文献 [11]。

按上式绘出的曲线，其形状如图 5-5 中的曲线 2。曲线 1 为风扇的特性曲线。它们的交点便是风扇在实际运行状态下的工作点。这一点的 Q、H 及 η 值均应与上述的计算或在风扇特性曲线上查得的结果相比较。若相差不悬殊，对采用离心式风扇时的通风计算便结束。否则应复查有关参数的选用值，必要时风扇或风路尺寸应予修改。

（2）轴流式风扇

对于轴流式风扇，主要是用风量核算风扇的尺寸——风叶外径 D_1、内径 D_2、风叶高、宽及扭转角。

与离心式风扇的设计步骤一样，先由发热损耗求出所需的风

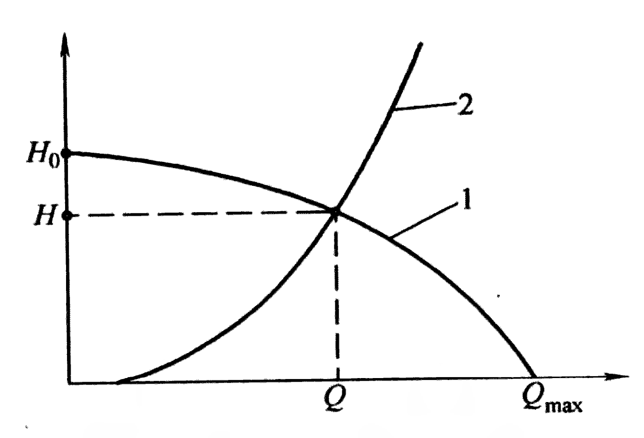


图 5-5 Q-H 特性曲线

1—风扇特性曲线；2—风路特性曲线

量 Q，然后再与用选取的风扇尺寸算得的 Q 值相比较

$$Q=\frac{\pi}{4}(D_1^2-D_2^2)v_0 \quad (\mathrm{m^3/min}) \tag{5-15}$$

式中 D_1——叶片外径，m；

D_2——叶片内径，m；

v_0——为空气进入叶片时速度，$v_0=v/(1.15\sim1.25)$，m/s；

v——空气通过风叶时的轴向速度，m/s，可由风叶的速度三角形近似地求取，见图 5-6。

图 5-6 中：

u 为空气的切向速度

$$u=\pi Dn/60 \quad (\mathrm{m/s}) \tag{5-16}$$

式中 n——电机转速，r/min；

D——所计算的叶片截面处的直径，m。

C_u 为气流旋转速度

$$C_u=\frac{1}{2}au \quad (\mathrm{m/s})$$

式中 a——系数，在风扇外径处取 0.1；在风叶根部取 0.2[12]。

w 为 u、v 及 C_u 的合成速度，它与 u 的夹角 $\varphi=\theta-\alpha$。

θ 为风叶的扭转角。在异步电机的内、外风扇中可取 $\theta=20°\sim40°$（见 1971 年 9 月“明电舍时报”）。θ 取得大，风压高，消耗功率大，噪声也大；反之亦然。为了使 v 在沿风叶高度上近

似地相等，θ 应从叶片根部开始，随风叶所在断面的直径的增加而逐渐减小，否则将产生紊流。若风叶上、下的 θ 不同，图 5-6 的 θ 可视为平均值。

α 为“冲击角”或“攻角”，按参考文献 [12]，取 $\alpha=2°\sim8°$。

有了以上数据便可求出 v，具体步骤如下。

① 确定比例尺后，在与风扇旋转方向相平行的反向上取 u；

② 在 u 的同一起点上画出 $\varphi=\theta-\alpha$；

③ 在 u 的终端画出与 v_0 相平行、同方向的线（即与 u 垂直）——v 矢量的方向；

④ 在 u 矢量上取 $OA=u-C_u$，作 AB 与 v_0 平行，与 w 矢量交于 B；

⑤ 作 BC 与 u 矢量平行，与 v 矢量交于 C，矢量 CD 的长度（与 u 同一比例尺）即为 v 值。

叶片外径（即风扇外径），对于内风扇，为便于拆装，应取与转子外径相同或略小于转子外径的尺寸；对于外风扇，按照风路风阻的大小，可取为等于转子外径或略大于转子外径的尺寸。

叶片片数 N，可在 6～12 片的范围内选取，对应的 D_1 在 300～700mm 范围内选取。相邻两叶片在内径处应首尾相接，则叶片在内径处的宽度 b_2（弦长）为

$$b_2\approx\pi D_2/(6\sim12)\quad(\mathrm{m})\tag{5-17}$$

叶片高

$$h=(D_1-D_2)/2\quad(\mathrm{m})$$

对于用在电机上的轴流式风扇

$$h/b_2\approx1\sim1.5$$

按照以上确定 D_1 的方法，先假设一个 D_2，得到一个相应的 b_2，再用 $h/b_2\approx1\sim1.5$ 进行校验，这样经过几次“凑算”便得比较合适的 D_2 值，于是便可以用 $Q=\pi(D_1^2-D_2^2)v_0/4$ 公式算得的 Q 与按发热损耗算得的 Q 相比较，若两者相差不太大，说明风扇尺寸选得比较合适。否则，也像离心式风扇那样，调整风扇尺寸或者复查 $\Delta\theta$ 的假设值是否与同类产品间的取值差得太大；或者分别绘出风扇及除风扇以外的通风系统的特性曲线，找

出实际运行时的工作点（参见图 5-5）。

D_1 处的叶片宽 b_1，因为处于线速度比较高位置可以比 b_2 小些，可在 $b_1/b_2 \approx 0.5 \sim 0.8$ 的范围内选取。

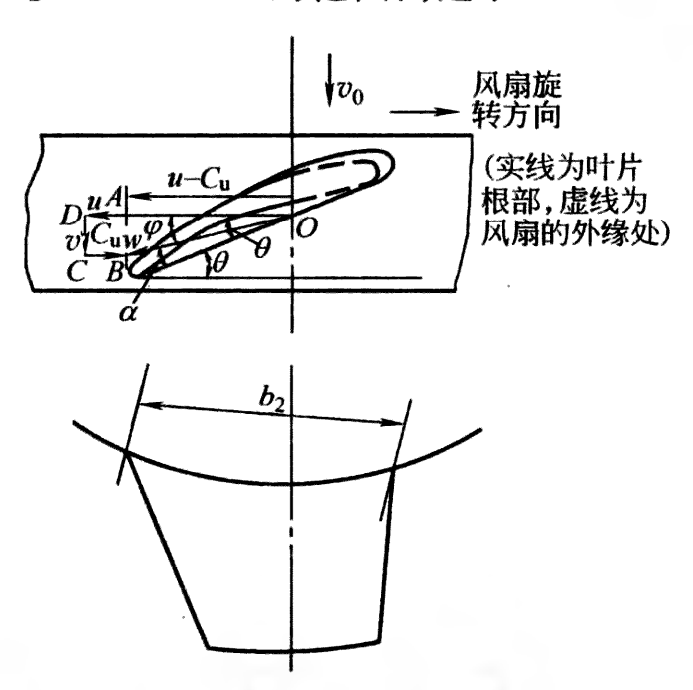


图 5-6 空气通过风叶时的轴向速度求取

以上对离心式、轴流式风扇的计算既适用于内风扇，也适用于外风扇。两者计算 Q 值时使用的公式是一样的，只是空气密度 γ 及冷却空气通过电机后升高的温度 $\Delta\theta$ 不同。在计算内风扇时，γ 按估算的温度一般小些；而 $\Delta\theta$ 取的值要高些，可按照不同的内循环通风方式，在 15～30℃的范围内选取；其次是因内、外风路的结构不同，在风扇形状、尺寸的设计上及风阻的计算上要有所差异。

5-6 怎样进行风路设计？

风路由风扇、风罩、挡风板、通风道及构成通风道的有关零部件，如机座、散热片及盖板等组成。下面以具有代表性的两种结构：IP23、IP44 为例分别介绍。

（1）防护等级为 IP23 的电机

图 5-7 为 IP23 电机的典型结构，箭头表示风道中空气的走向。为简化结构，对于采用铸铝转子的电机不专设内风扇，用铸

在端环上的铝风叶代替。因此铝风叶的轴向长度及片数应参考离心式风扇设计；其内、外径只能随端环而定，并应在轴向长度方向上带有3°～5°的脱模斜度。

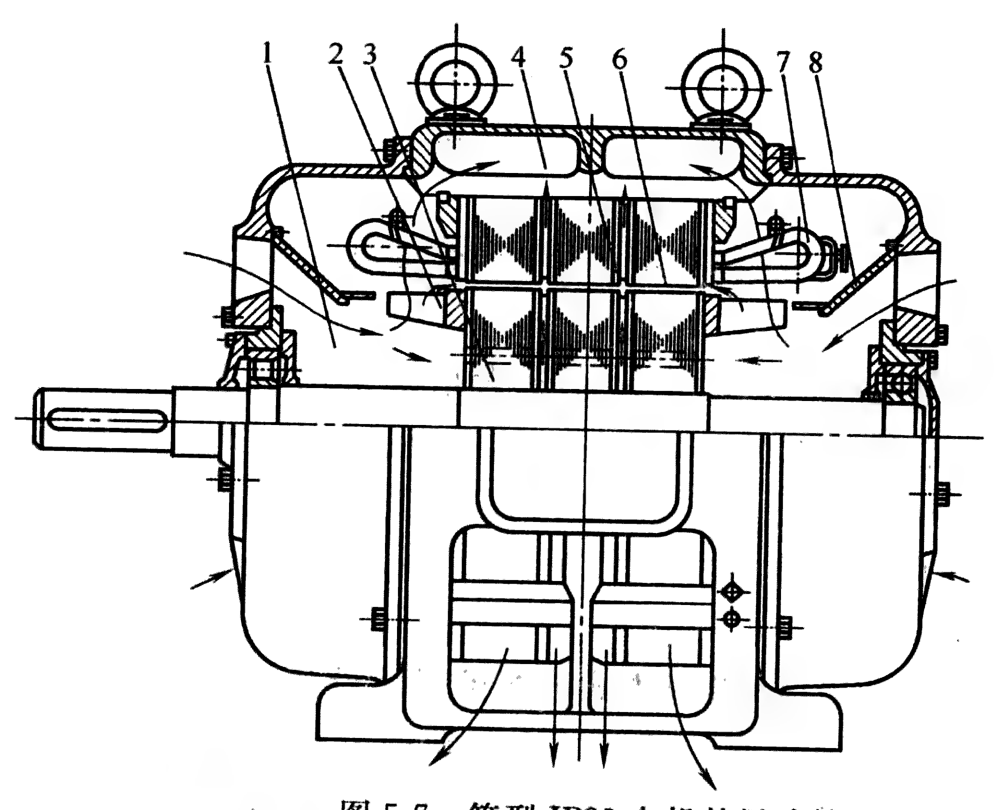


图 5-7 笼型 IP23 电机的风路结构

1—集风室；2—铝风叶；3—转子铁芯的轴向通风道；4—机座上的轴向风道；5—定、转子铁芯中的径向风道；6—气隙（兼作周向风道）；7—定子绕组及端部空隙形成的风道；8—挡风板

进风口在端盖上，出风口在机座上，进、出风口的大小可按风量、风压及电机转速进行设计。值得注意的是，进风口不要过小，免得因风速高产生较大的噪声。为使冷却空气按所要求（冷却电机有效部分，并应尽量减小风阻以避免气流突然拐弯及气流通道的截面突变）的路径流动，在端盖的内侧加挡风板。

对于 IP23 的绕线转子电机，可根据电机的大小在转子上装有内风扇或用挡尘板、平衡块之类的零部件兼作内风扇。

在风路设计时，除尽量减小风阻外，在空间允许的情况下应该留有较大的集风室。

（2）防护等级为 IP44 的电机

防护等级为 IP44 及以上的空气冷却电机的风路在设计上与

IP44 的无区别。这类电机因从小到大覆盖面很宽，其风路的花样也较多。目前国内外在 IP44 上主要采用以下四种通风散热方式。

① 不带内、外风扇的自冷式，代号为 IC0041。

② 有外风扇无内循环通风的自扇冷式，代号为 IC0141。

③ 有内、外风扇，有内循环通风的自扇冷式，代号为 IC0151。

④ 无内、外风扇，靠另外加的管路通风的他冷式，代号为 IC37。

除特殊用途电机外，功率从小到大依次采用上述的①～③种，第④种是在特殊工况下采用的。这里当然也存在着交叉采用的情况。如 200kW 左右的电机，有的厂家采用 IC0141，有的采用 IC0151。在以上四种方式中以②、③两种占绝大多数。

5-7 冷却方式为 IC0141 自扇冷式电机的风路设计。

冷却方式为 IC0141 的自扇冷式电机典型风路结构见图 5-14。

① 风路构成 IC0141 的风路主要由风扇、风罩、散热片三部分构成。有时，对于较长、较大的机座，其上还要另加一个盖板；在采用轴流式风扇时，若风扇外径较小，还要加一个挡风板，见图 5-8 及图 5-9。

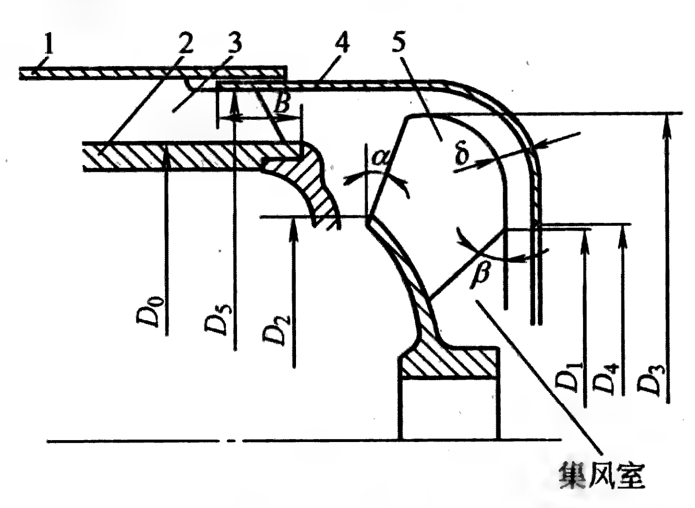


图 5-8 构成 IC0141 风路的零部件

1—盖板；2—机座；3—散热片；4—风罩；5—盆式风扇

② 风路中各零部件及其尺寸的选择

a. 经过多年的试验研究，对于 200kW 以下需要正、反转都能工作的电机，绝大部分都选用盆式风扇，见图 5-8。它也属于离心式风扇；对于允许单方向运转的电机，为降低损耗及噪声，常采用后倾式离心风扇（见图 5-2）或轴流式风扇［见图 5-1（右）、图 5-6 及图 5-9］。

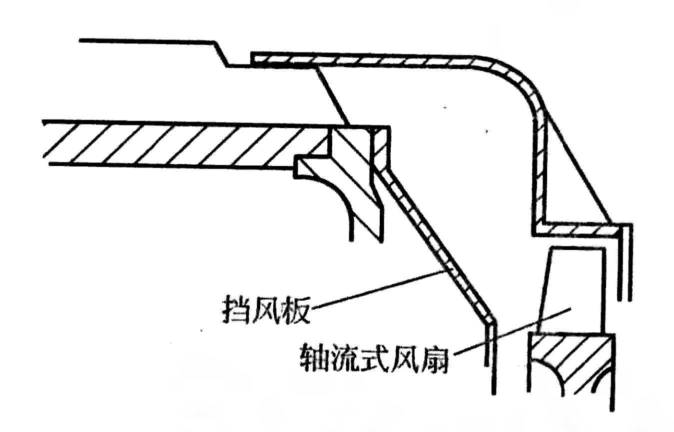


图 5-9 轴流式风扇及挡风板的布置

对于采用铸铝转子的 IP44 电机，在转子铝端环上铸出的风叶能使定子绕组端部及轴承的散热状况得到改善，但因端部空间有限，铝风叶不宜过长。国内有些厂家因受 IP23 电机（它的铝风叶的功能比 IP44 电机要大得多）的影响，将风叶做得较长，反而有害。前苏联及佳木斯电机厂均做过类似的试验，对于 200kW 2 极的电机，长度取 30mm 即可。叶片数宁少勿多，取 4～12 片（高速、小功率取小值）即可。

盆式风扇的叶片数参见表 5-3。

表 5-3 盆式风扇的叶片数

中心高/mm	80～160	180～280	≥315
2 极时片数	5～6	6～7	后倾式或轴流式
≥4 极时片数	6～7	7～10	10～13

图 5-8 所示的盆式风扇的 α 角可在 10°～30°的范围内选取；β 可在 30°～50°的范围内选取。

叶片轴向的最大宽度，对于 80～355mm 中心高的 4～10 极电机可在 30～120mm 的范围内按均匀递增的规律选取。在同一中心高中，2 极电机的叶片宽度取 4～10 极电机的 85%～90% 即可。

b. 80～355mm 中心高电机的机座外径 D_0 与风扇、风罩在径向尺寸间的匹配关系（见图 5-8）可参考表 5-4。

表 5-4 尺寸匹配关系

极数 \ 尺寸比	D_0/D_1	D_0/D_2	D_0/D_3	D_0/D_5	D_1/D_4
2	1.5～1.9	1.35～1.65	1.1～1.3	0.88～0.89	0.85～0.9
4～10	1.3～1.45	1.2～1.3	0.95～1.1	0.88～0.89	0.9～1.0

2 极电机的 D_0/D_1、D_0/D_2 及 D_0/D_3 应随功率的增加而逐渐取表中较大的值。

c. 风扇与风罩的间隙 δ 可在 10～20mm 的范围内选取。进风口处应有较大的“集风室”。

d. 风罩搭接机座的长度 B（见图 5-8）以冷却空气能在轴伸端被扩散的程度而设计，一般可在 30～150mm 的范围内选取。

e. 散热片不宜过密、过高。但不论何种散热片（铸的还是焊的）与外壳（机座、端盖）接触部分的圆角要尽量的大。两代产品——JO2 系列及 Y 系列机座上的散热片片数、片高见表 5-5。

表 5-5 JO2 与 Y 系列机座上的散热片片数、片高

中心高/mm		80	90	100	112	132	160	180	200	225	250	280	315	355
片数	Y	16	16	26	26	28	28	34	34	45	46	48	53	57
	JO2	—	20	24	28	30	36	44	—	44	49	51	—	—
片高/mm	Y	12	15	15	17	18	21	21	24.5	26.5	31	36	40	45
	JO2	—	14	14	15	17	21.5	23	—	29	32	35	—	—

诚然，表 5-5 所列的散热片的片数、片高未必是最佳值，但已经过一些试验研究，并经过多年的生产验证，同时，与国外同类产品相比，也基本相近，所以，在目前尚无优化程序选取片数、片高之前，新设计的产品在散热片的设计上宜参照表 5-5。

因机座上铸有接线盒座、底脚等，所以除用片数表征散热片疏密外，用片间夹角也很切合实际。

Y 系列电机片间夹角：6.5°～11°；

JO2 系列电机片间夹角：6°～10°。

它们的规律都是随机座号的增加夹角逐渐减小。

散热片除增加散热面积外，还起加强筋的作用。所以端盖上的散热片尽量设计成辐射状排列。

f. 盖板用在较大的机座号上，它与机座外表面（D_0）之间的间隙不宜过小，即不要紧贴散热片，在半径方向上与散热片之间应留有 10mm 左右的间隙。若端罩设计得合适，可以不用它。近年来在需要降低噪声的场所中才加盖板，并在其内壁衬上吸声材料。

5-8 冷却方式为 IC0151 自扇冷却电机的风路设计。

冷却方式为 IC0151 的自扇冷式电机，为带内循环通风的冷却方式，见图 5-17～图 5-20。IC0151 用在中、大型电机上。其外部风路与 IC0141 的类似，只是由于尺寸的增加以及机座上带冷却器之后需要的风量、风压较大，外风扇的大小也要随之明显增加。外风扇一般采用离心式、轴流式两种。下面仅介绍内循环风路。内循环风路有三种，见图 5-10。

在三种内循环通风方式中，就定子绕组沿轴向温度分布的均匀程度来说，径向通风较好，混合通风次之，轴向通风较差。但由于“整浸”工艺的问世，使线圈与铁芯间的散热系数明显增大，铁芯部分的线圈沿轴向的温度差也随之降低，这就给轴向通风创造了机遇。德国 AEG 公司、原瑞士 BBC 公司均对轴向通风有如下结论[13,14]。

① 采用轴向通风时冷却空气可以在定、转子中合理分配，故冷却效果较好。

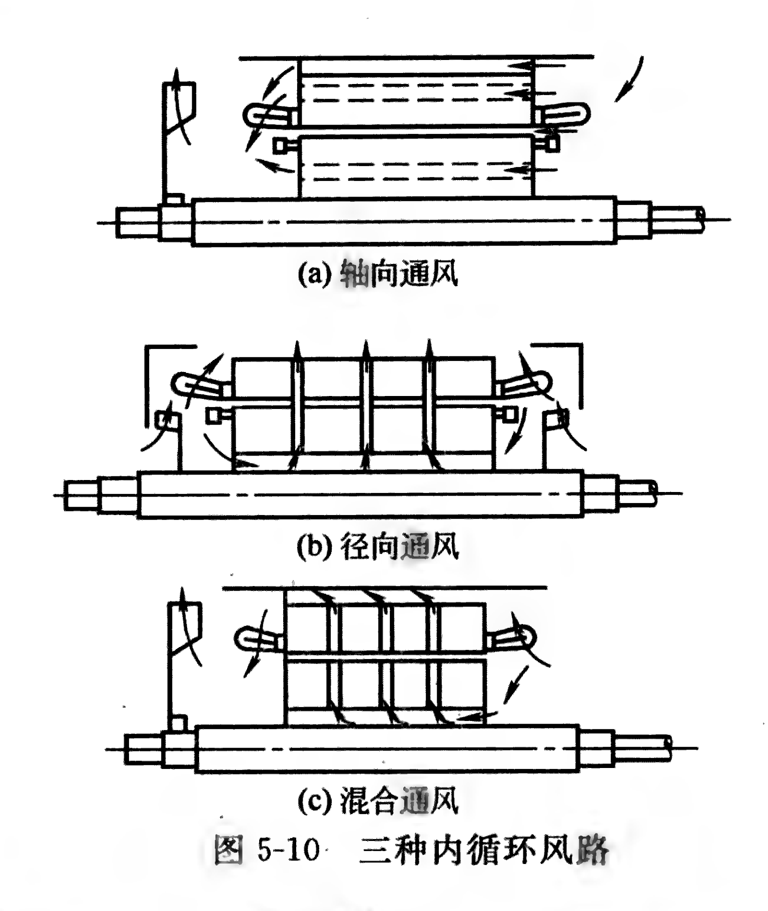

(a) 轴向通风
(b) 径向通风
(c) 混合通风

图 5-10 三种内循环风路

② 通风损耗小，通风噪声低。原佳木斯电机厂在试制500kW 12 极高压电机时对定子绕组沿轴向的温度分布用热电偶进行了实测，其结论与 AEG、BBC 公司的是吻合的。就沿轴向温度分布的均匀性来说，尽管轴向通风不如径向通风，但在电磁负荷、消耗的有效材料基本相同的情况下，轴向通风时在线圈中测得的最高温度并不高于径向通风的。但用电阻法测得的绕组温度就明显地低于径向通风。如果除定、转子轭部的轴向通风孔外，在定子齿部、槽口处再设置轴向通风道（见图 5-11），其散热效果就更为显著。

此外，由于轴向通风的定、转子铁芯比径向及混合两种通风方式的都简单，其制造成本也降低了。

在采用轴向通风时，最好使冷却器中的热空气与吹拂冷却器的冷空气的流向相反，以利于热交换。

5-9 高压电机绕组端部的风路应如何考虑?

高压电机一般采用成型绕组，其绕组端部除考虑机械强度

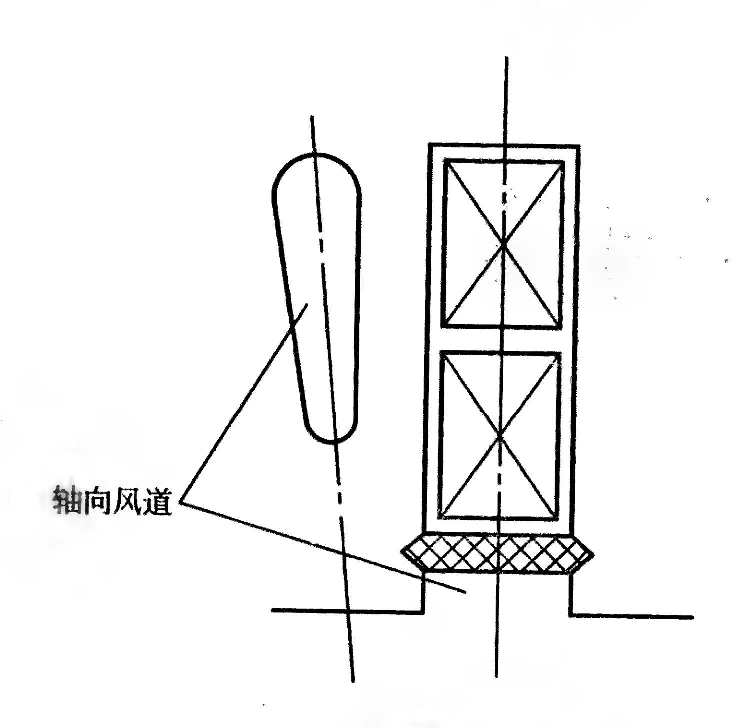


图 5-11 定子齿部、槽口的轴向风道

（绑扎要牢固、可靠）、电气强度（绝缘处理妥善）外，通风散热也要顾及到。

端部绑扎，从通风散热上考虑应注意以下三点。

① 在压装、接引线允许的前提下，喇叭口应尽量大，利于散热。

② 线圈间应留有足够的距离，程序中用 X_i 代表此间隙。因 X_i 选得大，绕组端部要长，占据较多的空间，且耗费的铜导线也要增加。因此，设计人员都倾向取小值，殊不知这样会埋下发热的隐患。见图 5-12。

图 5-12（a）因端部线圈间间隙较小，操作者索性用抽掉蕊丝的玻璃丝绳绑扎了事，线圈间几乎没有间隙，散热状况极差。对于 2、4 极电机，端部比较长，因这部分热量散得少，使温升升高比较明显。

③ 端部主绝缘包扎的层数，若绑扎、处理得当，是直线部分的 2/3 即可。间隙大点，线圈间加垫块［见图 5-12（b）］，散热状况好。在这种情况下，即使是绕组的导线选得小点，电密略高些，温升也不会增加。

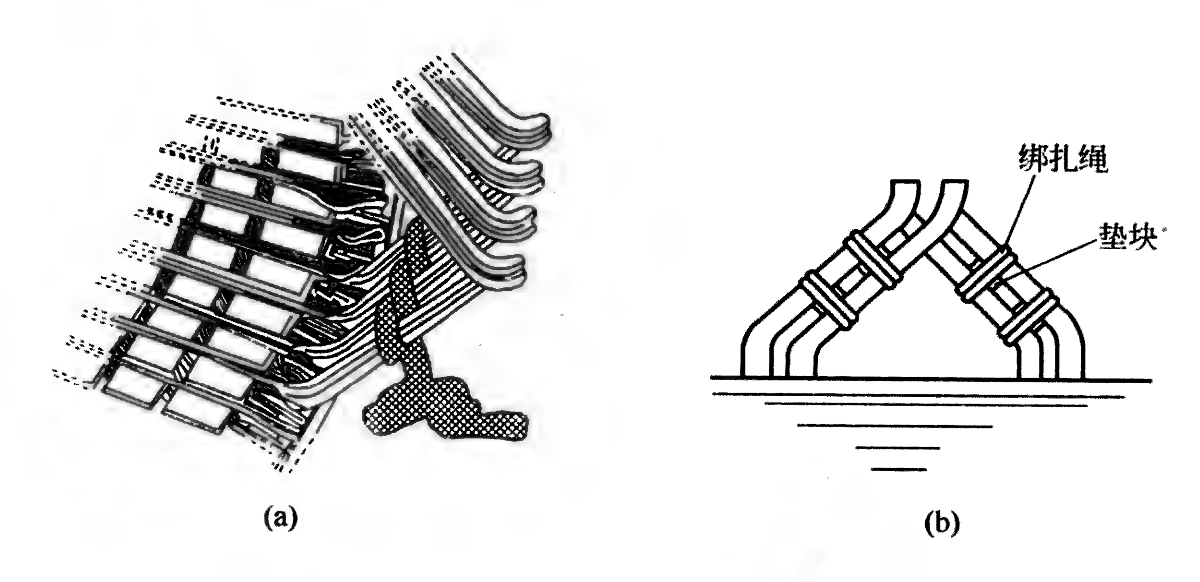


图 5-12 成型绕组端部绑扎示意图

5-10 目前国内在三相异步电机上采用几种通风散热方式?

目前国内在三相异步电机上采用的通风散热方式共有十余种，见图 5-13～图 5-26。

5-11 各种通风散热方式的结构特征、效果及适用范围如何?

表 5-6 列出常用的 14 种通风散热方式及结构特征、适用范围。

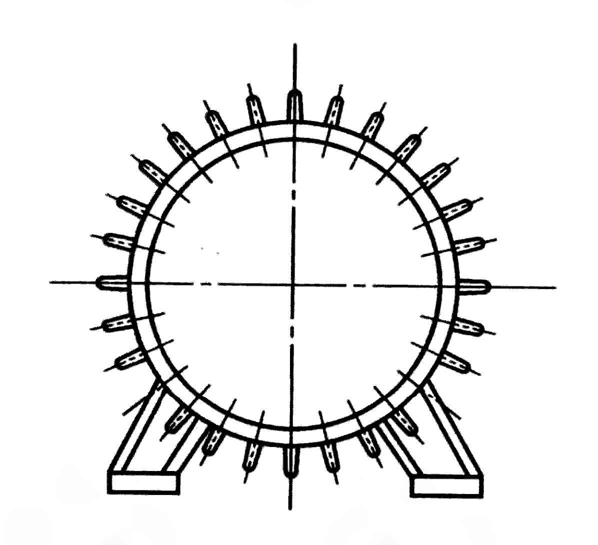


图 5-13 自冷、自扇冷机座

表 5-6 异步电机上常用的通风散热方式及结构特征、适用范围

序号	通风散热方式	结构特征	适用范围	附图	综合效果
1	自冷	无外风扇，靠热传导及壳体上的散热片散热	粉尘多、需要噪声小的场所，如煤矿井下装岩机用的YBI电机	5-13	一般
2	自扇冷	机壳如图5-13，靠热传导及自带的外风扇吹拂壳体表面（对流）散热	国内、外中小型电机广泛采用的结构	5-14 5-13	好
3	自扇冷 带轴向风道	靠热传导、内部对流及外风扇吹拂机壳表面散热。因4个通风道占据了热传导散热面积；风道壁较厚，内部粗糙，气流流速高，气流本身发热量较大，故经试验，效果不如2	目前仅在Y355机座号的铸铁机座上采用	5-15	一般
4	开启式（IP23） 自扇冷	机座、端盖上分别带有进、出风通风孔（铸铁机座）	粉尘、污染少、环境较好的场所	5-16	好
5	自扇冷 带内循环通风	机座上焊有通风管，管下、管间焊有散热片。定子铁芯齿部设有轴向通风孔。因传导、对流兼顾，散热效果较好，但加工工时较多	机座号355～500的防爆电机	5-17	好
6	自扇冷 带内循环通风	外风扇吹拂设在机座上的数排冷却风管，内风扇形成的气流流经管间得到冷却，定、转子铁芯设有径向通风道，构成“双回路径向通风”	中、大型2、4极防爆电机	5-18	较好

续表

序号	通风散热方式	结构特征	适用范围	附图	综合效果
7	自扇冷 带内循环通风	外风扇吹拂设在机座上的数排冷却风管，内风扇形成的气流流经管间得到冷却。定、转子铁芯及铁芯与机座间构成轴向通风道，称为“轴向通风”	中、大型防爆电机	5-19	好
8	自扇冷 带内循环通风	箱式结构，机座在中心的水平位置上分成下、下两部分，既保证了铁芯与机座止口的同轴度，也解决了铁芯轴向装入机座时，迫使机座止口过大的弊病（见图 3-13），内风路轴、径向兼顾，故称为“混合通风”	适用中、大型 4 极及极数更多的低速电机。防爆电机机座按 6、7，内风路按 8 即可	5-20	好
9	水冷	机座上设有周向（见图 5-21）或轴向水道，钢板机座	多用在井下的防爆电机上	5-21	好
10	水冷 带内循环通风	机座如 5（焊有内循环用的通风管及散热片），机座外侧通冷却水冷却风管及散热片、壳体，俗称“水夹克”	中、大型各种电机，只要水源方便	5-22	好
11	开启式 不带顶罩 （IP23）	端盖上带进风孔，机座两侧有出风孔，机座上部封死，机座由钢板焊成，仅电机内部有风扇，将冷却空气吸入，再排出	中、大型各种电机，只要环境允许	5-23	好

续表

序号	通风散热方式	结构特征	适用范围	附图	综合效果
12	开启式 带顶罩 (IP24)	类似11，只是冷却空气的进入、排出均在机座上部，上部加一个IP24的风罩，仅电机内部有风扇	中、大型各种电机，只要环境允许	5-24	较好
13	自扇冷 带空/水冷却器	类似6、7、8，内风路可与6、7、8同，无外风扇，冷却器的冷却管内通冷却用水	中、大型各种电机，噪声较低，只要水源方便	5-25	好
14	他冷	他冷有两种：自备风机[图5-26(a)]及管道通风[图5-26(b)]。电机无外风扇，但必要时可加内风扇，其作用是将送入电机内腔的冷空气搅匀	小、中、大型各种电机，噪声较低，冷却效果也好，只要条件允许、认为有必要(如变频电机)	5-26	好

注："综合效果"由以下（4）项内容构成：
（1）冷却效果；
（2）加工工艺性；
（3）噪声；
（4）结构（是否容易保证质量、便于维护等）。
按以上（4）项指标，在各自的适用范围内将表5-6所列的14种方式粗略地划分为"好"、"较好"及"一般"。

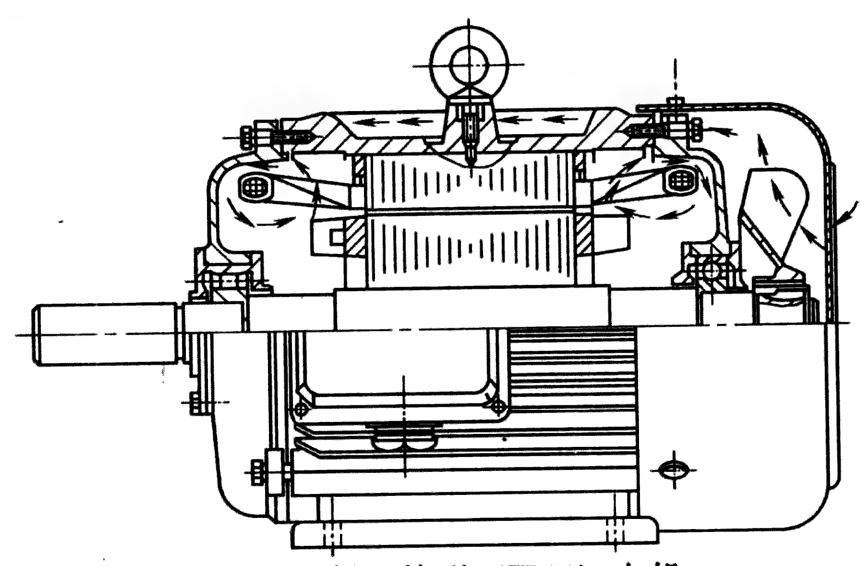


图 5-14　低压笼型（IP44）电机

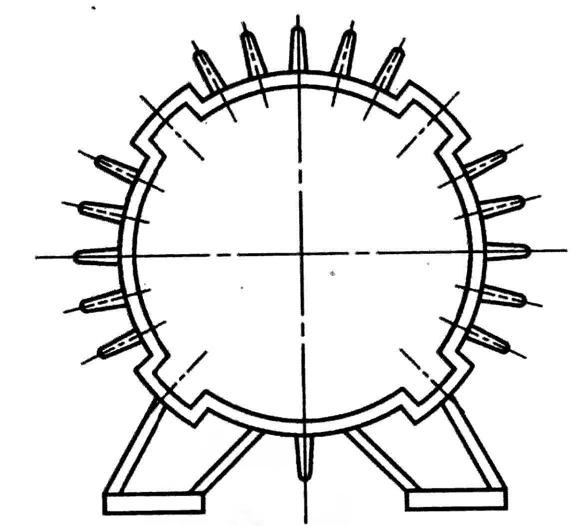


图 5-15　带有轴向风道的自扇冷机座

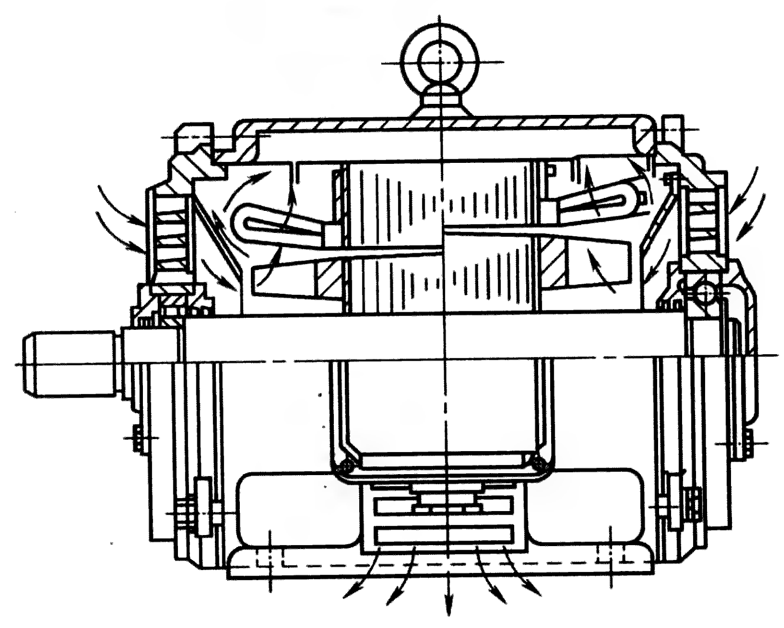


图 5-16　低压笼型（IP23）电机

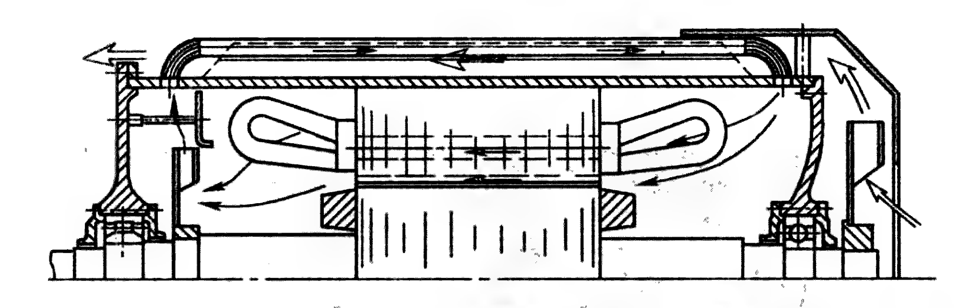


图 5-17 机座上焊有通风管、带内循环通风的电机

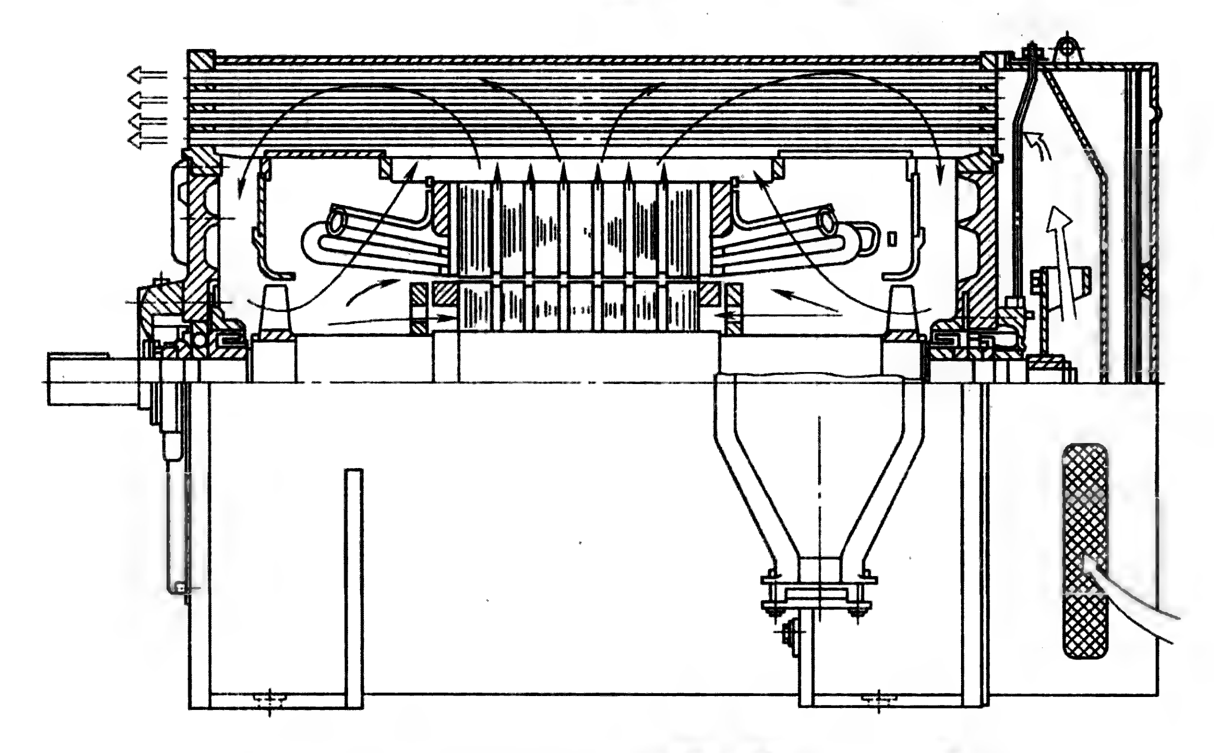


图 5-18（a） 高压笼型电机（滚动轴承、径向通风）

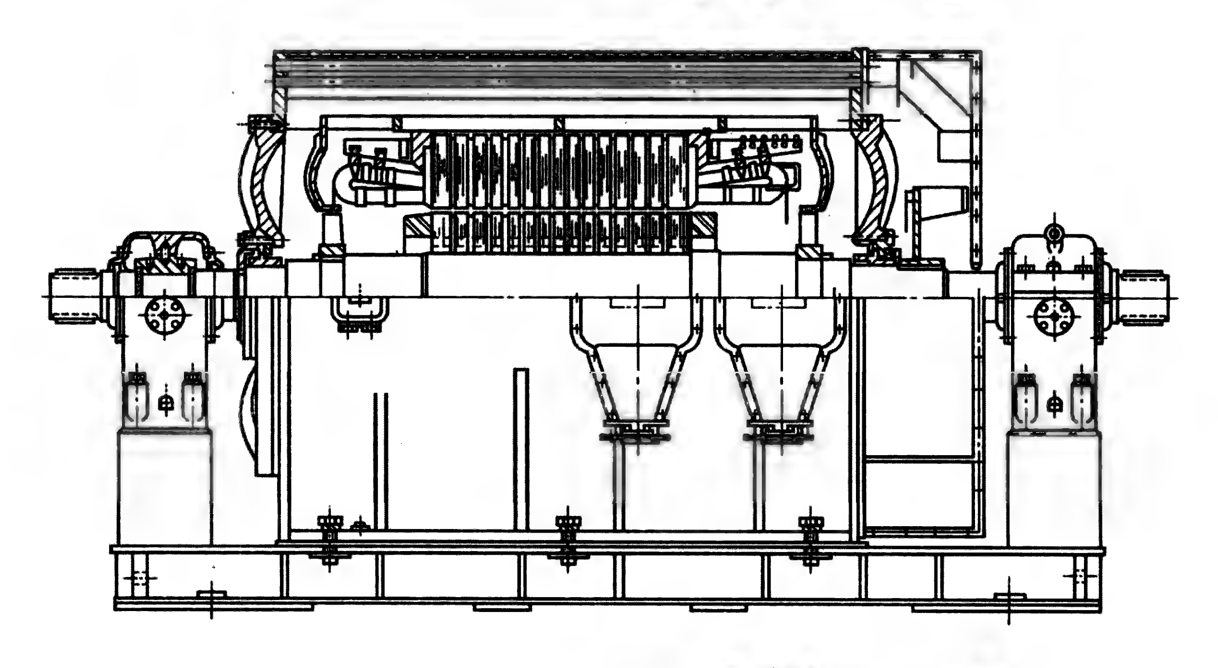


图 5-18（b） 高压笼型电机（座式滑动轴承、径向通风）

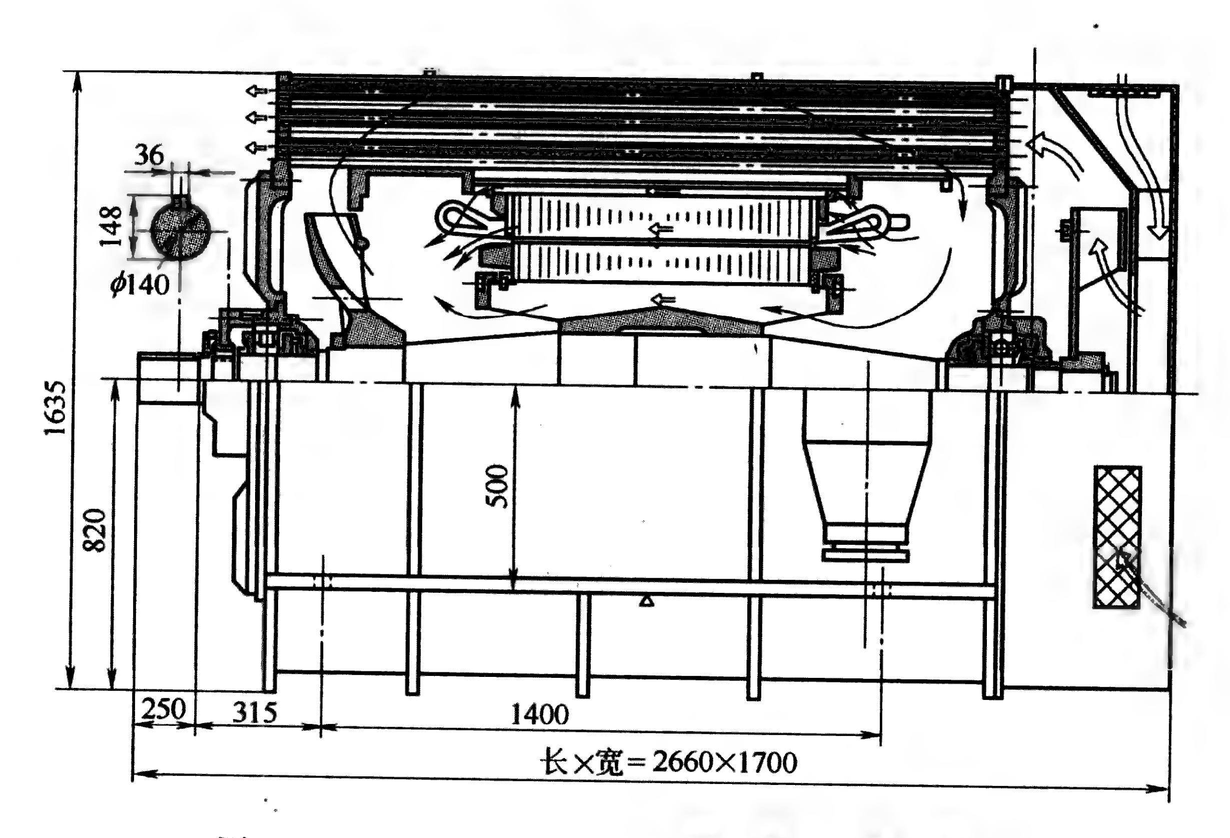


图 5-19（a） 高压笼型电机（滚动轴承、轴向通风）

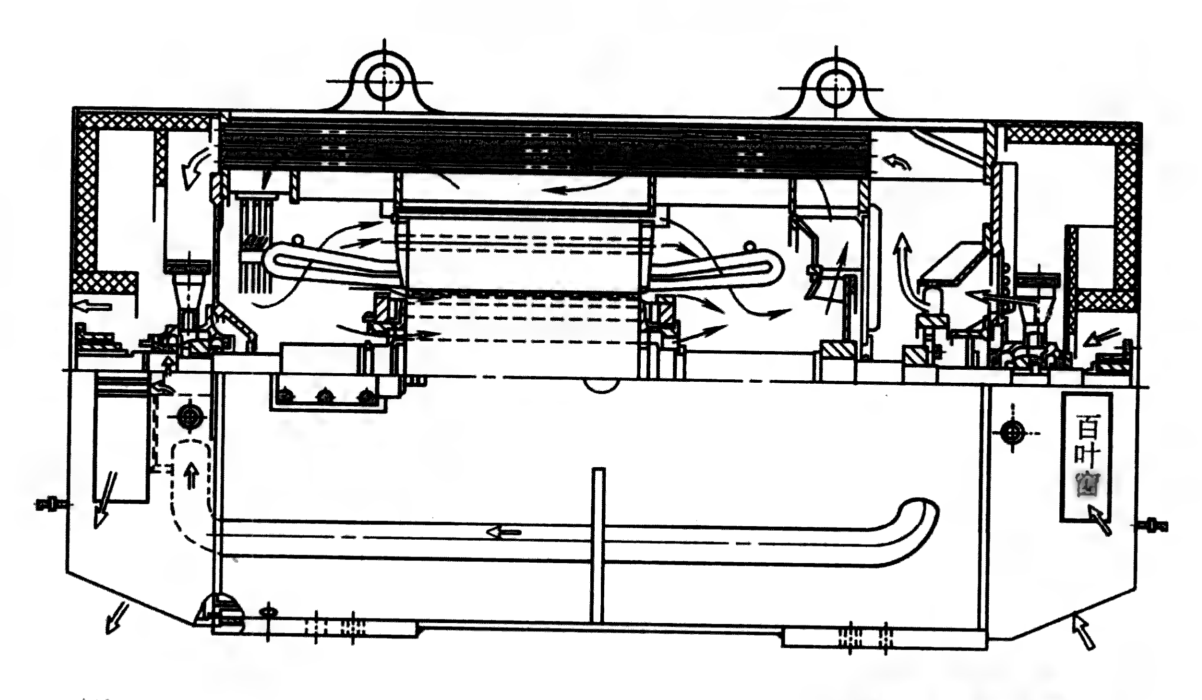


图 5-19（b） 高压笼型电机（铜条转子、端盖式滑动轴承、轴向通风）

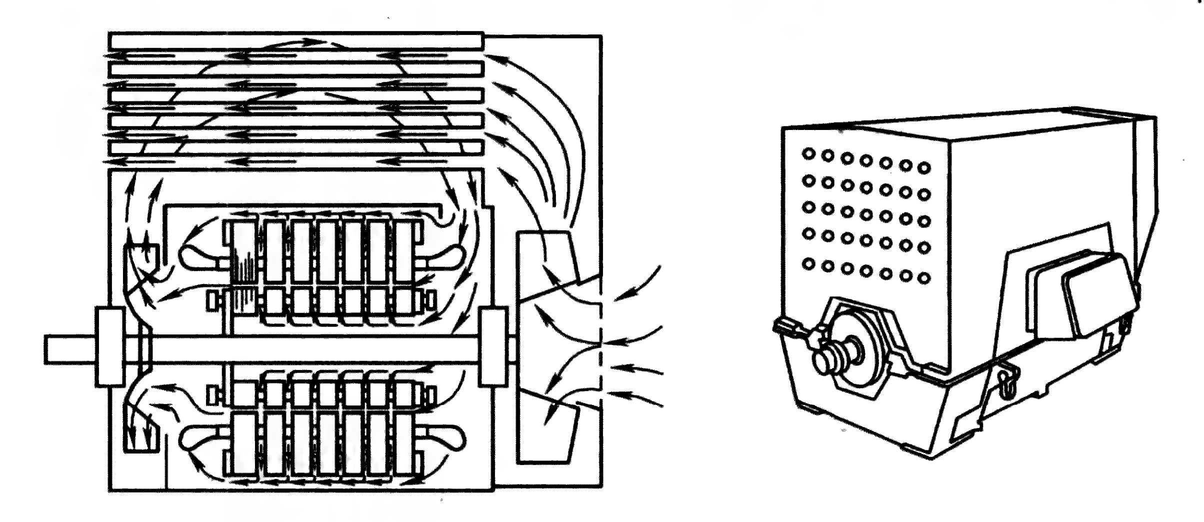


图 5-20（a）　箱式结构笼型（IP44）电机

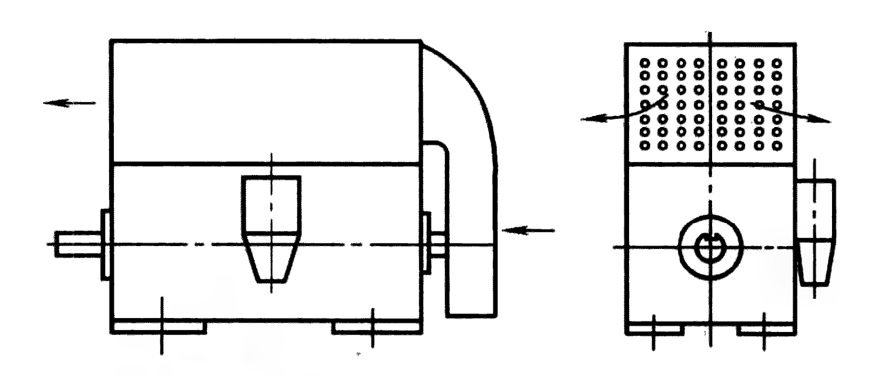


图 5-20（b）　带空/空冷却器的电机

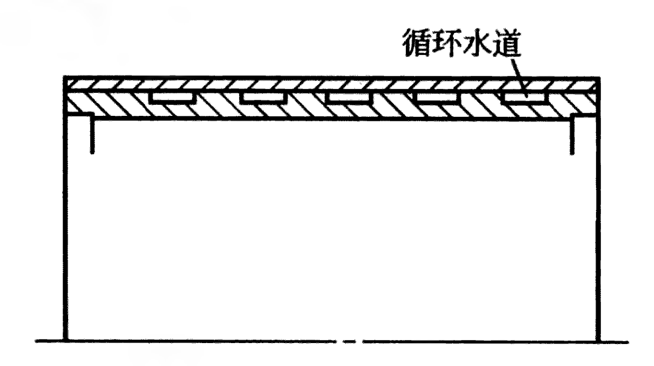


图 5-21　水冷电机机座

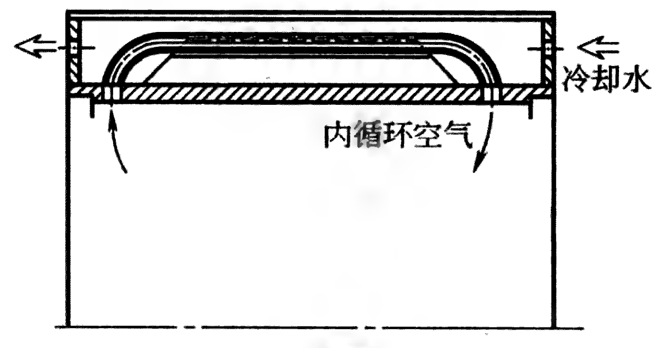


图 5-22　带内循环通风水冷电机机座

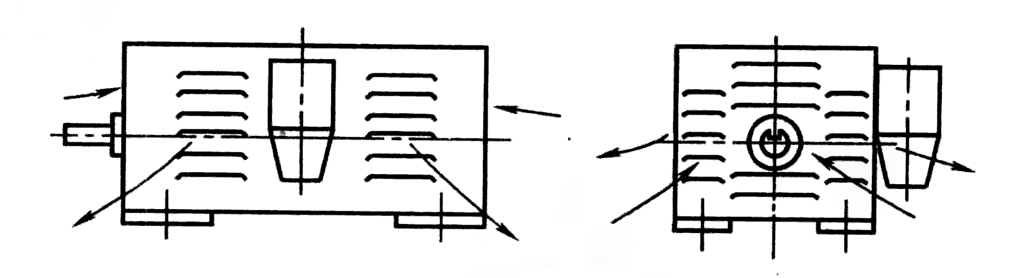


图 5-23 不带顶罩的 IP23 电机

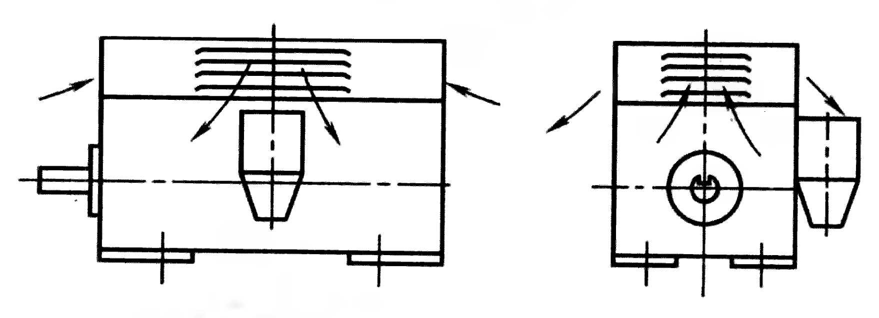


图 5-24 带顶罩的 IP23 电机

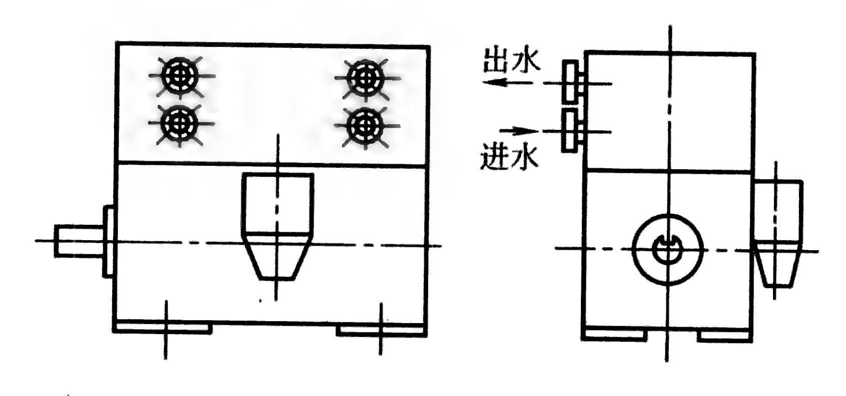


图 5-25 带空/水冷却器的电机

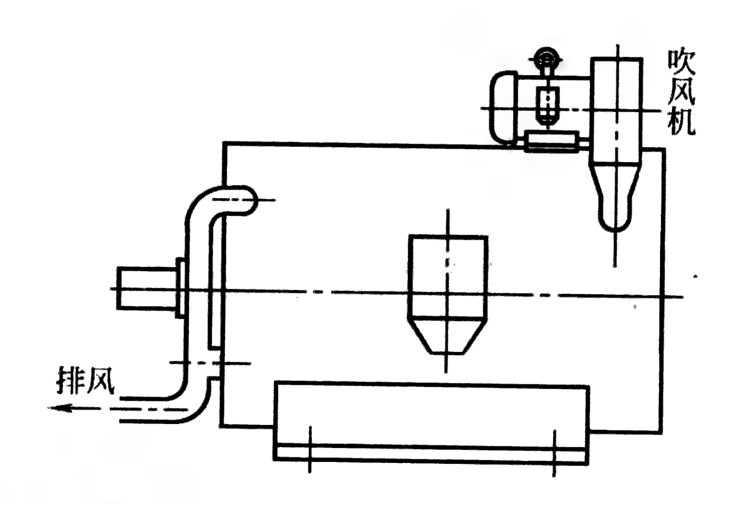


图 5-26-(a) 自带风机的他冷式电机

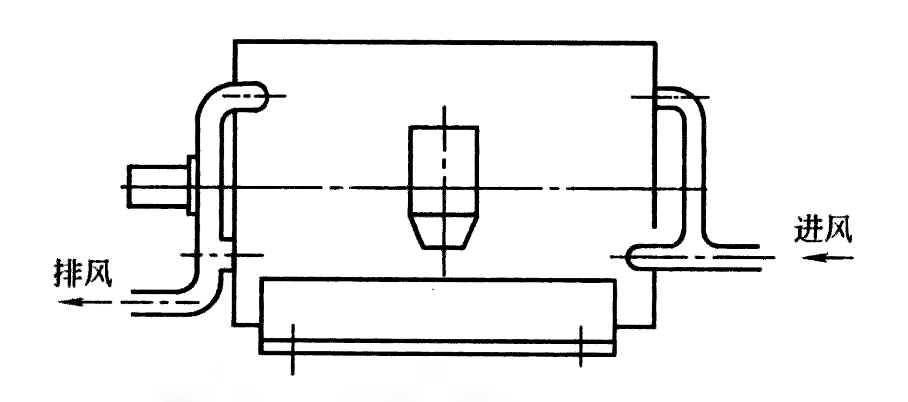


图 5-26（b）　管道通风的他冷式电机

5-12　怎样从加工角度考虑通风散热方式?

通风散热结构应便于加工，即加工工艺性要好。

5-13　怎样从使用维护角度考虑通风散热方式?

电机在使用中，风路上要积累污垢；水冷的电机水路上要积累水垢。它们都要影响散热效果。有的电机在制造厂出厂试验时温升并不高，运行一段时间后，温升就高了，主要原因是污垢、水垢没有及时被清理。因此，设计上要考虑便于除垢。

5-14　怎样从通风散热效果考虑其结构?

衡量通风散热效果应考虑以下三点。

① 带走的热量多。对于绕组，不仅温升低，而且温度场比较均匀；集电环及轴承也得到很好的冷却效果。

② 噪声低。

③ 损耗小。

表 5-6 所列的 14 种通风散热方式中，IP23 结构（序号 4、11、12）、他冷（序号 14）、水冷（序号 9、10）及带空/水冷却器结构的通风散热效果好。后两种噪声也低，电机本身用在通风上的损耗也小。但由于受使用条件的限制，应用范围有限。

在序号 11、12 的 IP23 结构中，能不带顶罩，尽量不带。带顶罩的结构通风、散热效果比不带的差，还要多用材料。

应用面宽的还是几种自扇冷结构，具体应用如下。

序号 2 是用在应用面最广的低压中、小型功率小于 200kW 左右、355 机座号及以下的电机上。

序号 5——钢板机座上焊有通风管及散热片的结构，经在 YA、YB400～500 机座号上选用，通风、散热效果好，采用消声措施后，噪声也不高。

序号 6、7、8 多用在功率较大的高压电机上。

序号 6——径向通风，采用轴流式内风扇，用在 2、4 极电机上效果较好。

序号 7——轴向通风，因结构简单、降温效果好，也有较大的选用余地，只是温度场的分布不如 6。但 AEG、BBC 两公司经试验研究得出的结论是：在沿轴向温度分布的均匀性虽不如径向通风的，但在电磁负荷、消耗的有效材料基本相同的情况下，轴向通风在线圈中测得的最高温度并不高于径向通风的[14]。当绕组采用 VPI 工艺，在铁芯的轭部、齿部加上通风孔时，其效果明显好于径向通风。

序号 8——混合通风，因内风扇的位置、大小比较随意，应用范围也比较宽。特别是当将热交换器置于机座上方时，它的应用范围就更广泛——防爆增安型及普通型高压电机均可采用。因它中心高可以低，电机运行时稳定性较好；热交换器在上方，不占场地，可以设计得大点，提高冷却效果。同时，热交换器、机座可以互不干扰地平行制造，有利于缩短施工周期。此外，该结构既便于派生 IP23 产品，又可以使定子从上方装入机座，使机座止口能够适当地缩小，提高机座刚度。

序号 5、6、7 三种结构多用在隔爆型电机上。

在通风散热上还有几个在设计、制造中容易被忽略，对产品质量性能又有较大影响的问题，归纳如下。

首先，拖动风机、泵的电机，其旋转方向是单一的。通常，2 极电机的内、外风扇是单一转向；≥4 极电机的转向，在设计、制造、使用中，为了便于管理，内、外风扇都是双向的。但≥4 极拖动风机、泵的电机的产量也不小，内、外风扇也应该是单向

的，即后倾式离心风扇。它与可以正、反转的风扇相比，噪声小、损耗小，应引起设计、制造、使用诸部门的重视。

其次，355、400及450三个机座号是高、低压电机并存的“中间地带”，因此通风散热方式也比较乱。但这三个机座号电机的产量比较大，无论哪项技术指标的优劣，都会产生较大的影响面。

由于它是中间地带，生产小电机的厂家习惯于在小电机的传统结构上派生；生产大电机的厂家，认为它小，有时拿它不当回事，因而被掉以轻心。比如YB 355机座号，机座结构如图5-15。它是Y系列上派生，由于散热效果差，Y系列已将原定的F级绝缘按B级考核的承诺改回按F级考核。

经试验：在355机座上同一厂家，同样的定、转子冲片，同样的工艺，用200kW、8极低压电机按图5-14（中小型电机最常用的自扇冷结构）、图5-15各试验一台，前者比后者铁芯缩短了20mm，温升还低了10K（其原因已在上文分析过）。

可以考虑采用序号5、图5-17的结构。机座加工费点事，但降温效果好，继而节省有效材料——铜线、硅钢片的效益也比较可观。在YB 250kW、6极6kV电机上试验：尽管电密是按图5-15结构的200kW、8极的1.5倍，但温升仍比200kW的低20K。

这就要求制造厂的设计、生产部门权衡利弊，再将使用中的社会效益纳入设计思路之中，就会得出比较合理的通风散热结构。

再次，风路要流畅。比如定子绕组端部线圈间风道，为了省铜、省事，将绕组端部设计得过短；绑扎也不太考究，线圈间几乎无间隙。对于2、4极电机，端部在整个绕组中占很大的比例，这部分绕组散热状况差，电机温升势必要高，这往往是找不出原因的原因。

西门子公司纽伦堡电机厂在高压电机端部绑扎中，线圈间的垫块规格有3～5种之多，操作者绑扎时，不厌其烦。线圈间空隙较大，且很匀称。

最后，内风路设计时，力求合理，尽量减少内风路间互相“争嘴”，比如当转子有径向通风道，转子两端各有一个离心式风扇时，最好在风扇与转子轴向风道间增设挡风罩。因转子径向通风道本身也是一个小离心式风扇，不加此罩，它要与内风扇“争嘴”。见图 5-27。

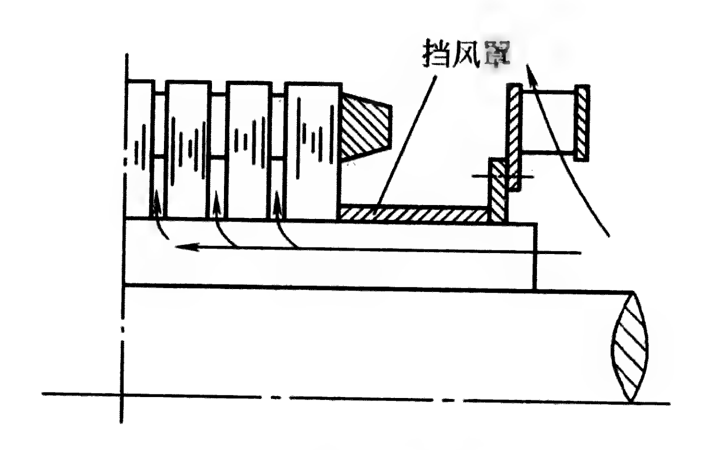


图 5-27　带挡风罩的转子

第六章　运行、选型及使用维护

6-1　电机负荷是如何定义的?

负荷，直观地说，指被电机拖动的负载。当电压一定时，负载越大，定子电流 I_1 也越大。因此，使用现场将 I_1 称为电机的负荷。

6-2　怎样按照实际使用情况判定负荷是否在合适的范围内?

判定的准则是电机的额定电流 I_N。当 $I_1 \leqslant I_N$ 时，负荷就是在合适的范围内。但由于 $I_1 \approx I_N$ 时，电机的效率、功率因数最高，所以 I_1 不宜太小。电机 I_1 过小，说明电机的过安装系数 K 值太大，对电机的用户来说是个浪费。

反之，由于使用状况的变化，超出了电机技术条件的规定值，如实际的电压 U_1 低于额定值 U_N 的 95%（近几年供、需双方有达成 U_1 不低于 $0.9U_N$，即允许电压在 $-10\% \sim 5\%$ 的范围内波动的默契）或者短时过负荷；或者环境温度超过 40℃时，电机的负荷就要发生变化，温度就要升高。这时，采取的对策就不尽相同了：恢复电压，使之接近 U_N；降低负荷（如拖动风机的电机，将风门缩小）；改善电机的冷却状况（给电机额外吹点冷空气）……

若电机的生产厂家给电机留的温升裕度较大，在上列超出正常状况下运行时，电机的温度还允许，则可以继续运行。

6-3　制造厂的设计部门应如何按照电机结构、电压、工作制、工艺、材料及使用状况选定电机的电磁负荷?

“电磁负荷”与上面说的“电机负荷”不同。前者指电流密

度（简称“电密”）及磁通密度（简称“磁密”）；后者指电流值。电密、磁密选得高，可以节省有效材料——导线及硅钢片。它们与下列因素有关（磁密主要与硅钢片材质有关），要选得适度。否则，给使用带来后患。

（1）电机结构

在结构上限制电磁负荷的因素主要是防护等级及通风散热结构。其中关键的两个等级就是 IP23、IP44。前者称“开启式”，后者称“封闭式”。通常在铁芯尺寸相近的情况下，开启式电机要比封闭式高 2～3 个功率等级，即电密大约可以提高 25%～35%。

（2）电压

电压越高，绝缘越厚，散热越困难，允许的电密就越低。

比如，YB 450-4，380V 时，P_N 可达 630kW；

6kV 时，P_N 可达 500kW；

10kV 时，P_N 仅达 355kW。

（3）工作制

连续运行的电机比短时、断续运行的出力要低，即电密要选得小。

（4）加工工艺

加工工艺对电磁负荷，主要是电密的选择同样起着至关重要的作用。比如，硅钢片的绝缘处理——涂漆与氧化；绕组浸渍工艺——模压与 VPI，彼此间对电机温升影响的幅度都比较大，即直接制约着电密的选择。不同厂家按同一套统一设计电磁数据制造时，电机温升出现较大的差别，其原因就是工艺在作祟。因此，采用统一设计的或者借鉴别的厂家的电磁数据时，务必要针对自己的工艺状况审核、选用电磁负荷。

（5）材料

优质的电磁材料可以生产出高水平的电机，这无需赘述。在选材上对电机性能影响最大的是硅钢片，这也是追赶国际先进水平的最大障碍；其次是浸渍漆、绝缘材料、绝缘导线。

（6）使用状况

使用状况包括使用、维护及环境。经常清理电机表面的污垢、环境温度较低、电压波动又不太大，对电机自然有利。设计者给这样的用户设计电机时，电磁负荷就可以选得稍大一点。

6-4　怎样按照实际运行状况选用电机？

电机的性能指标，有的越“高”越好，有的则不尽然。

① 电机的效率（η）、功率因数（$\cos\varphi$）越高越好；振动、噪声越小越好。这是越“高”越好的指标。

② 有些指标不完全是越“高”越好。因有的指标之间是互相制约、互相补偿的。比如，要堵转电流（I_{st}）小点，堵转转矩（T_{st}）也要随之降低。既要 I_{st} 小，又要 T_{st} 大，制造厂也能做得到，如采用“刀形”槽（见第二章）或在常规产品上采取些措施。采取措施要使电机的成本、售价提高，比如煤矿井下用的有些电机，采用双笼铜条转子，就可以得到 I_{st}、T_{st} 均较理想的产品，但制造成本要比普通铸铝转子高。

再如绕线转子的电压（U_2）、电流（I_2），使用部门希望 U_2、I_2 都不要高，这是不可能的。异步电机转子绕组相当于变压器的副边绕组，当功率不变时，U_2、I_2 的乘积也基本上是一个固定的数值，只能随电机电磁损耗的变化在一个很小的范围内变动。制造厂可以让其中一个低一点，随之将另一个调高。

有的如防护等级、防爆等级，满足需要即可，未必越高越好。比如防护等级，IP44 若能满足使用要求就不要买 IP54 的，后者不仅售价高，且增加一个易损件——橡胶密封圈；防爆等级也同样（见第一章）。

本书将几个有选择余地的技术指标列入表 6-1。

表 6-1　不同负荷对几项技术指标的要求

负荷或场所	T_m	T_{st}	I_{st}
煤矿井下用于拖动掘进、装岩、输送、采煤机械的电机	√	√	√
拖动轴流式风机、泵的电机	×	×	√
拖动离心式风机、泵的电机	×	√	√

续表

负荷或场所	T_m	T_{st}	I_{st}
频繁启动或拖动粉碎机、搅拌机、压缩机等的电机	√	√	√
网络容量小的场所	—	—	√
网络容量大的场所	—	—	×

注："√"表示对此项指标要求比较苛刻；"×"表示可以松动一点；"—"表示随不同性质负荷正常要求。

6-5 选型不当（含技术指标）会出现哪些问题？

① 大马拉小车，浪费；

② 过安装系数选得小，电机发热；

③ T_m、T_{st}、I_{st}功能过剩，损伤其他指标；T_m、T_{st}、I_{st}功能不足，不能满足正常运行；

④ 该用 IP44 电机选了 IP54 的，给维护带来不便；该用 IP54 选了 IP44，甚至 IP23 的，额外地增加了电机的故障——轴承过早损坏，电机内腔积垢，影响电机正常运行；

⑤ 该用户外、防爆、防爆防腐、粉尘防爆电机选用普通防爆电机，满足不了使用要求，过早损坏；

⑥ 该ⅡA级隔爆电机选了ⅡB级的，增加了故障率；该用无火花型防爆电机选用隔爆型电机，功能过剩，提高了费用。

6-6 怎样判定电机运行是否正常？

正常运行的电机应具备以下特征：

① 振动在允许的范围内。

② 噪声在允许的范围内。有时，电机的供电电压过高，电机的电磁噪声也要增加（停电的一瞬间立即消失的噪声，即为电磁噪声）。

③ 轴承的响声、温度均在正常范围内。

④ 绕组的温度在正常的范围内。若绕组温度突然增加很多，虽然在允许的范围内，也是出现故障的征兆——匝间短路、三相电源不平衡度超过允许值（任意一相空载电流大于三相平均值的

10%)、一相断路、转子导条出现细、断条故障；定、转子有相擦迹象等。

6-7　维护中应注意哪些问题？

除判定运行是否正常的项目——振动、噪声、响声、局部过热或绕组温度突然升高是维护中应注意的问题外，下列项目也是维护中注意的问题：

① 橡胶密封件是否老化失效；

② 轴承润滑脂有无流失；

③ 风路中的污垢要经常清理；

④ 接线盒中是否有冷凝水；

⑤ 紧固螺栓是否松动；

⑥ 外接地处是否完好；

⑦ 防爆面是否有锈斑；

⑧ 停机较长时应检查电机的对地绝缘电阻；

⑨ 继电保护系统是否处于完好的工作状态；

⑩ 电压、电流、频率是否在正常允许的范围内。

6-8　电机拆卸时应注意哪些事项？

① 拆卸前应熟悉电机的结构，可借助电机的产品说明书或参照同类产品的结构，确定拆卸时的操作程序。

② 拆端盖，确定拆一个端盖还是拆两个。拆一个时，要拆哪一端的，都要取决于电机的结构。比如拆 YB 系列低压电机，一般先拆轴伸端端盖，然后带着外风扇将转子抽出来。

拆端盖前应先将内、外盖螺栓卸下。若端盖上有拆卸螺孔，应借助螺栓将端盖在均匀受力状况下被“顶”出来。否则应该用铜锤轻而均匀地将端盖敲下来。对于较重的端盖，拆卸时应将端盖先用起重设备吊起来再往下拆。

③ 抽转子时，小电机可以不用工具。大一点的可借助图 6-1 所示的工具。为了使用专用工具，有时需将外风扇或风扇、端盖一起拆下来。

再大一点的电机，要将两端端盖同时拆下，或者借助于假

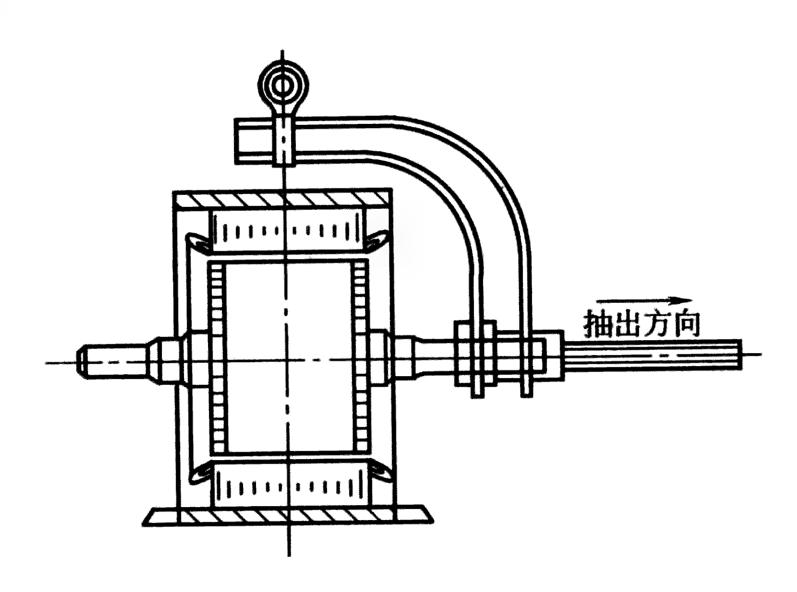


图 6-1　200～1000kW 电机拆装专用工具

轴，见图 6-2。有时因场地小，一次抽不出来，可以分两次抽，见图 6-3。

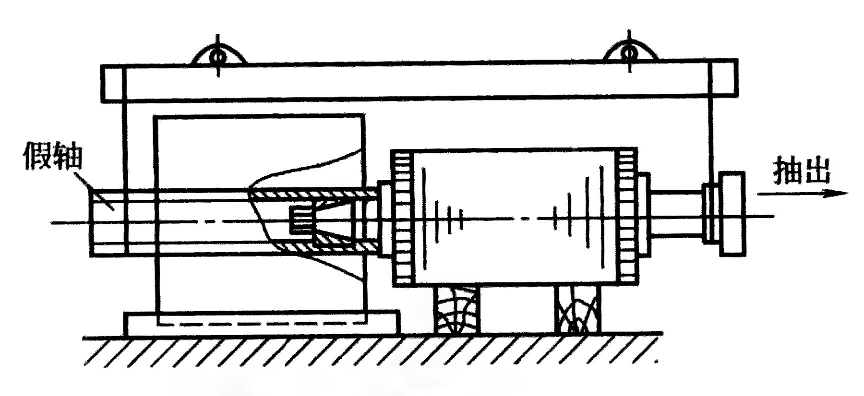


图 6-2　借假轴抽转子方法

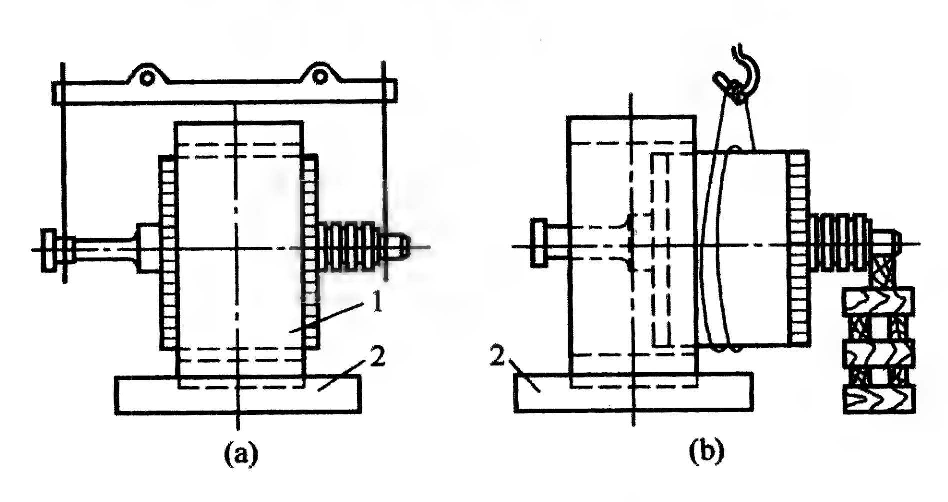


图 6-3　两次抽出转子方法

1—机座；2—地脚

④ 拆轴承及平衡环、风扇等与转子配合较紧的零部件。这类零部件要借助专用的拆卸工具，见图 6-4。

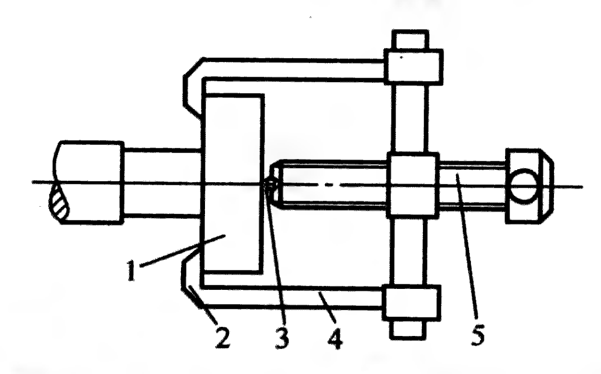


图 6-4　用拆卸工具拆除电机的连接件

1—连接件；2—钩爪；3—钢珠；4—拉杆；5—主螺杆

当转子上有“障碍”拆卸工具的钩爪不能到位时，可借助内盖或用一个可以分开的专用工具，见图 6-5 及图 6-6。

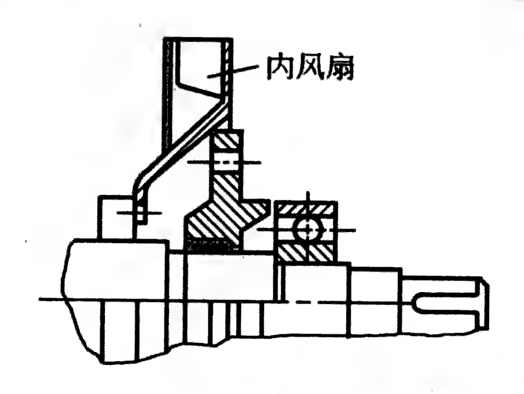


图 6-5　利用轴承内盖拆除法

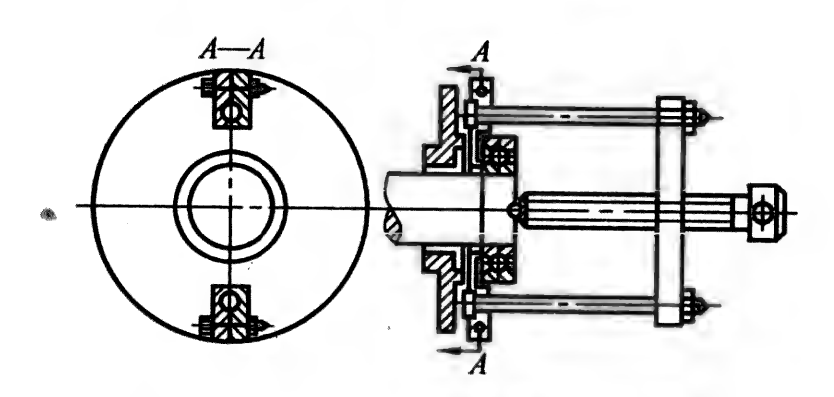


图 6-6　利用两个对缝铁板拆出轴承

拆卸时注意事项。

a. 使用拆卸工具时，应使被拆件受力均匀。

b. 拆下来的零部件应做上标记，装配时最好还装在原位上。

c. 防止磕碰，注意保护定、转子绕组及防爆面。

若拆装现场无起重设备，电机又比较大，可以参照图 6-7 制造一套拆装电机的专用设备。

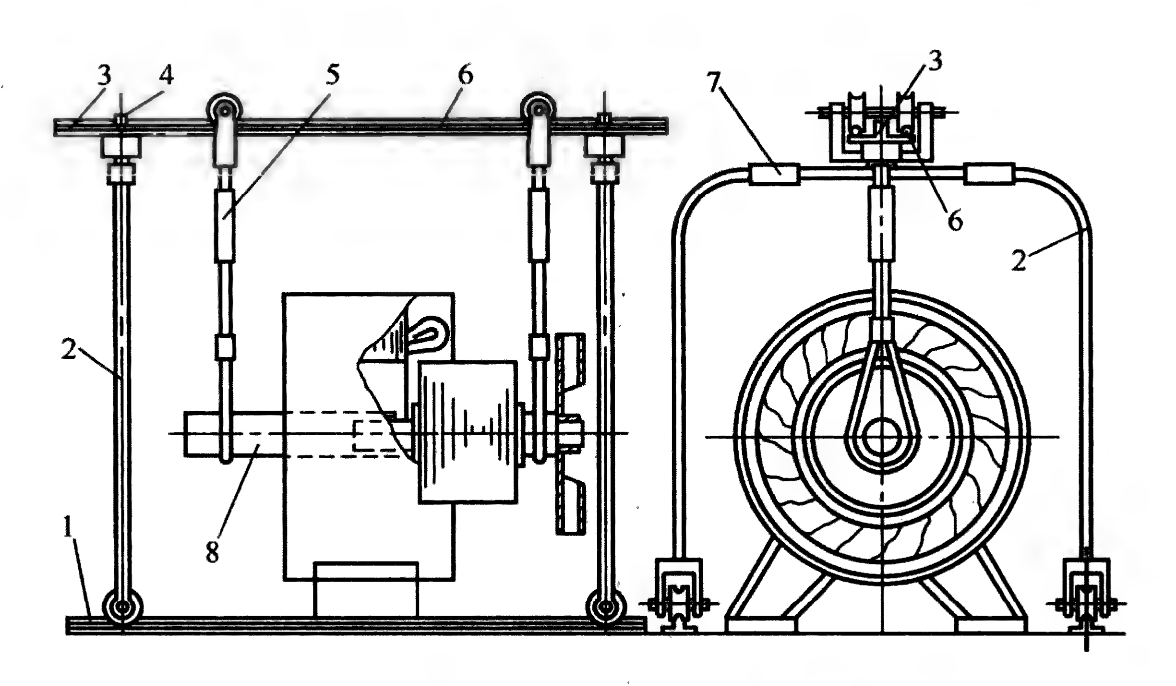


图 6-7 不用吊车拆装电机示意图

1—滑道；2—门式撑架；3—丁字梁；4—定位销；5—调高螺杆；6—滑轨；7—调宽丝杠；8—假轴

6-9 电机装配时应注意哪些事项？

装配与拆卸过程相反。插转子用的工具与抽转子时相同。值得注意的是：轴承的安装、润滑脂（油）的填装量及牌号。

（1）滚动轴承装配时注意事项

① 原来是热套的，仍热套为好。通常 132 机座号以下为冷装。

② 装前要检查与轴承配合的零部件的公差是否符合要求。

③ 轴承应一律借助套筒打到轴上。

④ 热装轴承，加热温度约为 100℃，可在油中煮 5～10min，然后迅速装到轴上，待冷却后再清洗、涂润滑脂、装端盖、外盖。

⑤ 轴承外套上的牌号应朝外。

⑥ 润滑脂不宜涂太多（见第三章）

⑦ 润滑脂有钠基、钙基、钙钠基、复合钙基、锂基及二硫化钼等品种。使用电机的部门可根据自己的习惯、经验选用，未必完全遵循制造厂的牌号。但更换时，原脂必须清理干净。

（2）滑动轴承装配时注意事项

① 装配前，油箱要清理干净，检查有无漏油之处。

② 检查注、排油管路是否畅通，测温装置触头应放到能触及到瓦皮的位置上。

③ 将检查合格并经刮研的下瓦放入轴颈下面。此时要将轴头抬起0.1～0.2mm左右，将下瓦放入。

④ 做好测量的原始记录：轴向窜动量、侧面间隙、顶间隙等。

⑤ 检查油环的尺寸、表面粗糙度、椭圆度是否符合图纸要求；油环在下瓦槽内转动是否灵活。转轴在爬行速度下转动时，油环应不停转，亦不得与轴承座和其他的零件相碰撞。

⑥ 油环浸入油内深度≈油环外径/(4～6)。

⑦ 装上轴瓦及瓦盖，要对称旋紧螺钉，放入定位销后再对称地旋紧一次。

⑧ 轴瓦接合面的间隙应小于0.05mm。上轴承盖取下后，在接合面处均匀涂上μF-1型密封胶，然后将上瓦盖扣好，旋紧螺钉，打入定位销。

⑨ 注入原牌号润滑油，使油面达到油标的指示线上。亦可另选用牌号相当的润滑油。

⑩ 检查密封环与转轴的间隙，一般应在0.1～0.3mm的范围内。

⑪ 接好油路，检查轴承绝缘。

第七章　电机的安装调试与质量评定

7-1　安装前应做哪些准备工作?

安装前要做的准备工作依次如下。

(1) 按电机的使用说明书及文献［13］编写操作规程，其内容如下。

① 操作方法、程序及重要工具、仪器的使用和注意点。

② 技术要求及质量标准。

③ 技术安全措施。

(2) 核对电机的基础（有水泥及框架式两种）。

① 水泥基础　水泥基础占绝大部分，从保障安全运行角度出发，安装前应复核以下几项内容。

a. 按水泥基础所能承担的总负荷、电机的固有振动频率、转速及安装地点的土质状况，核对水泥基础的水泥牌号、基础尺寸是否合适。

b. 对于室外安装的电机，其水泥基础的深度应大于2.5m，或大于冻土层。

c. 核对地脚螺栓尺寸、形状及埋入深度是否符合要求，螺栓与水泥基础是否已成为一体。

② 框架式基础

a. 检查各焊接部位是否时效。

b. 按文献［13］复核框架的刚度及强度。

(3) 对于水泥基础，安放垫铁后还要完成下列工作。

① 预安装，第一次找平后进行第二次灌浆。经二次灌浆后垫铁应与水泥基础成为一体。

② 核对在水泥基础上的设备（电机或电机加它的负荷）加上垫铁后的整体重心是否与水泥基础的重心重合。若不重合，其偏心值和平行偏心方向的基底边长的比值应小于3%。否则应调整底脚螺栓的位置（底脚螺栓指固定电机的螺栓，即“锚钉”）。

（4）核对选用的电机及与之相配套的其他电气设备的选型是否符合要求。

（5）检查电机及其他电气设备是否有制造厂检验单位签发的产品合格证书。

（6）检查即将安装的电机及其他相配的电气设备的外壳是否有损伤、裂纹。

7-2　安装时应注意哪些问题？

安装时应注意以下六个问题。

① 借助联轴器进行二次校平。二次校平时，电机与垫铁间进入“微调”，只能垫金属调整垫片。若检修时更换了同功率的低中心高的电机，应更换垫铁，重新进行二次灌浆，不宜在原垫铁与电机间加入槽钢之类的垫铁。

电机与负载通过联轴器连在一起时，两个联轴器的平面——平面 A 与平面 B 要彼此平行（见图7-1）；两个联轴器的轴心线要重合。否则，电机不能正常工作，轴承也要过早地损坏。

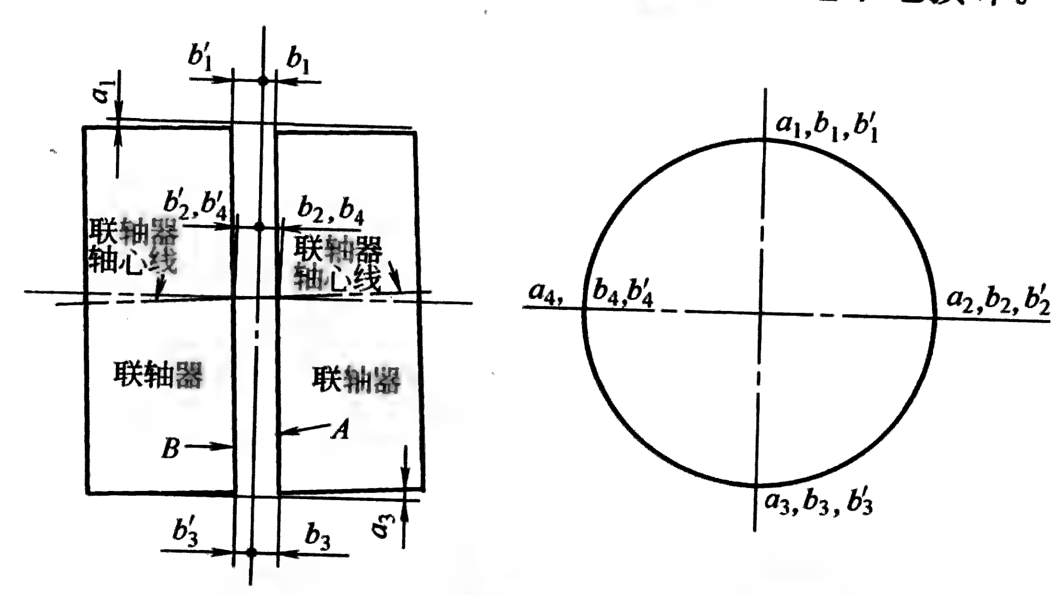


图7-1　借助联轴器二次校平示意图

设 a_1、a_2、a_3、a_4 为联轴器在 0°、90°、180°、270°位置上测出的径向间隙；$b_1 \sim b_4$、$b_1' \sim b_4'$为在 0°～270°四位置上测出的两个联轴器的各自的轴向间隙。则径向间隙的偏差为

$$S_1=(a_1-a_3)/2$$

$$S_2=(a_2-a_4)/2$$

轴向间隙的偏差为

$$S_3=\frac{b_1+b_1'}{4}-\frac{b_3+b_3'}{4}$$

$$S_4=\frac{b_2+b_2'}{4}-\frac{b_4+b_4'}{4}$$

式中 S_1——联轴器径向垂直偏差；

S_2——联轴器径向水平偏差；

S_3——联轴器轴向垂直偏差；

S_4——联轴器轴向水平偏差。

刚性联轴器允许的径向偏差为 0.03～0.05mm，允许的轴向偏差为 0.02～0.04mm。联轴器直径大者取较大的允许偏差值。

采用弹性联轴器时，当联轴器直径小于 200mm 时，允许的径向、轴向偏差均为 0.05mm；直径大于 200mm 时，允许的径向、轴向偏差按下式计算

$$0.05+\frac{\phi-200}{100}\times 0.01\ (\text{mm})$$

式中 ϕ——联轴器外径，mm。

② 采用滑动轴承的电机，调整磁场中心。采用滑动轴承的电机，因电机本身转子在轴向不能固定，为了使电机的定、转子铁芯对齐，或者定、转子铁芯在两端长短相差的长度基本相同（当转子铁芯比定子长时），应调整磁场中心，其简便的办法如下。

使电机在不带负荷状态下空转，比较通电和断电时转子轴向移动的距离，按照动、静位置的不同，确定轴向移动定子的距

离。也可以在空转情况下，用木棒顶在电机轴端，观察转子是否往复自由窜动及窜动的距离。若在带电和断电两种情况下，转子稳定在相同的位置上，则说明定、转子磁中心已重合，可保证电机在正常工作时，不会因转子轴向窜动而撞轴瓦。

若因电机的内、外风扇在电机运行时产生的轴向力使定、转子铁芯不能对齐，在偏移不太大时，可不予纠正。否则，若被拖动的负荷也无轴向定位措施，电机本身则应采取措施，避免过大的轴向力使转子撞轴瓦。

磁中心调好后，应做上标记。通常，制造厂在采用滑动轴承的电机上也备有磁中心校正后的标记。

③ 校核气隙。采用滑动轴承的电机或者采用图 5-20 (a) 结构的电机宜重校一次气隙均匀度。若为增安型电机，端盖上备有测气隙的孔。否则，应采取其他措施：如采用 RENK-B 型端盖式轴承时，取下上半个端盖；图 5-20 (a) 的结构，取下上半部分，或者在端盖上打孔，测量后按要求（对防爆电机）将孔封好。若气隙不均匀度超过图纸规定或实测平均值的±10%宜予校正。否则，容易产生振动及噪声。

调整气隙时应考虑一些附加因素：如滑动轴承电机在静止状态与工作状态下，上下气隙略有不同，若相差 0.05mm 左右，因运行时轴颈下部有 0.05mm 的空隙被油膜填充，则属正常；对于带有座式轴承的电机，因机座的温度在电机工作时要比轴承座高，在调气隙时，应使上部间隙略小于下部；还有与此相反的，如轴瓦磨损等因素，在调气隙时均应考虑。

④ 接电缆。接电缆时应将接线盒中的冷凝水、污垢清理干净。接好电缆后，再检查一下爬电距离、电气间隙是否符合规定。

⑤ 电缆进线口的密封、夹紧及电机内、外接地线应按规定处理妥善。

⑥ 拧紧底脚螺栓。底脚螺栓应在校平过程中分几次逐渐拧紧。

7-3 调试时应注意的问题？

调试亦称试车，其过程及值得注意的问题如下。

① 先加少量负荷在额定转速下运行，测试基础的振动振幅，以最后复核基础是否达到要求（主要复核基础的尺寸）。按照电机的转速，试车时对于水泥基础强迫振动的最大允许的振幅值列于表7-1。

表7-1 水泥基础允许强迫振动的最大振幅值

电机转速/(r/min)	基础强迫振动的最大振幅/mm	
	垂直振幅	水平振幅
≥3000	0.02	0.05
≥1500	0.06～0.1	0.09～0.15
≤500	0.1～0.15	0.15～0.20

对于框架式基础，当转速为3000r/min时，各个方向允许的振幅值应小于0.02mm；当转速等于或小于1500r/min时，此值为0.04mm。

② 加负荷至额定值，按照电机由小到大在额定状态下运行1～6h，以考核能否达到额定出力，或能否在额定状态下按照说明书的规定正常工作。

③ 检查有无局部过热。

④ 检查电机的振动、噪声是否在限度之内。特别应注意有无不正常的响声。

⑤ 检查指示灯、熔断器及其他继电保护装置、报警器是否处于正常工作状态。

⑥ 对于尺寸较大的电机，当冷态下校平合格后，带负荷运行时，有时会因电机径向热膨胀破坏校平的精度。若超过校平的规定，应立即停车，在热态下进行复校。

试车合格后，即可按照有关规定办理竣工交接验收手续，投入正式运行。

7-4 半成品时应做哪些试验、检验项目？

半成品车加工前除对进厂的原材料及主要外购件进行常规的

表 7-2　检修电机应做的试验、检验项目

序号	项目	试验、检验目的	参照标准	试验、检验方法	合格标准	备注
1	匝间耐压检验	检验电磁线自身绝缘及另加的匝间绝缘的质量； 检验制造中匝间绝缘造成的损伤，以确保成品电机在长期使用中，或遭受瞬间高压冲击（如雷电）时不因匝间击穿而招致整机损坏	GB 755	对比法：将被试的三相绕组按下图接好线，将被试品的任意一相作为“参照品绕组”。试验接线时，若三相的六个接线端都已引出，或 Y 接时中性线已引出，均可采用图(a)的接法；否则，可按(b)或(c)的接法。 H1 H2 L　U V W　(a) 相接法　(b) Y接法　(c) △接法 试验时，施加的冲击电压峰值 U_z 按下式计算： 低压散嵌绕组　$U_z=1.4KU_G$(V) 机座号≤100 小电机 $K=0.9$ 防爆电机 $K=1.05\sim1.2$ 特殊运行电机 $K=1.4$ 低压成型绕组　$U_z=\sqrt{2}KU_G$(V) 浸漆前 $K=0.8\sim1.0$ 浸漆后 $K=1.0\sim1.2$ $U_G=2U_N+1000$(V) 对于高压绕组 模压线圈　$U_z=2U_N+2500$(V) VPI　$U_z=0.9(2U_N+2500)$(V)	若无故障，被试绕组与“参照品绕组”的放电波形基本重合，见图(a)。 若因材料、制造因素影响，二者虽不重合，但偏差很小，如波形(b)，也视为合格。否则： 波形(c)（抖动，有放电声），则在匝间短路故障；波形(d)，存在匝数不等或首尾反接时出现的波形； 波形(e)为有一相断路时的波形； 波形(f)为有一相对机座短路（加压端）时波形	在半成品上检验

续表

序号	项目	试验、检验目的	参照标准	试验、检验方法	合格标准	备注
1	匝间耐压检验	检验电磁线自身绝缘及另加的匝间绝缘的质量； 检验制造中匝间绝缘造成的损伤，以确保成品电机在长期使用中，或遭受瞬间高压冲击（如雷电）时不因匝间击穿而招致整机损坏	GB 755. GB 1032	(a) (b) (c) (d) (e) (f) 空载运行时，将外施电压提高到 $1.3U_N$，时间为 3min。 若空载电流 $> I_N$，试验时间可缩至 1min。提高电压时，允许同时提高频率或转速，但不应超过额定转速的 50%，或按超速试验规定的转速	空载电流不出现较大的波动	在成品上检测

续表

序号	项目	试验、检验目的	参照标准	试验、检验方法	合格标准	备注
2	直流电阻测定	检查绕组所用材料的电阻率、匝数、几何尺寸是否符合设计要求；用测得的电阻 R 计算电机的热损耗 I^2R 及绕组温升	GB/T 1032	1. 电机在被测场所静置，使温度计测得的绕组温度与冷却介质的温度差小于2℃。对大、中型电机，温度计放置时间应大于15min 2. 为减少测量误差，尽量用双臂电桥或同等精确的仪器测量，如用自动检测装置或数字式微欧计测量，此时通过绕组的检测电流应小于 $0.1I_N$，通电时间应小于1min。若电阻小于0.01Ω，则通过被试绕组的电流不宜太小 3. 测量时，转子要静止。测绕线转子的端电阻时，应尽量在绕组与集电环连接的连接片上测 4. 每一电阻测三次。每次读数与三次读数的平均值之差应在平均值的±0.5%范围内，取其算术平均值作为电阻的实际值 5. 各相电阻值的计算 ① Y接时 $R_a=R_{med}-R_{bc}$ $R_b=R_{med}-R_{ca}$ $R_c=R_{med}-R_{cb}$ ② △接时 $R_a=R_{bc}R_{ca}/(R_{med}-R_{ab})+R_{ab}-R_{med}$ $R_b=R_{ca}R_{ab}/(R_{med}-R_{bc})+R_{be}-R_{med}$ $R_c=R_{ab}R_{bc}/(R_{med}-R_{ca})+R_{ca}-R_{med}$ $R_{med}=(R_{ab}+R_{bc}+R_{ca})/2$ R_{ab}、R_{bc}、R_{ca}分别为出线端A与B、B与C、C与A间测得的端电阻，Ω；若它们与 R_{av} 之差：Y接时小于 $2\%R_{av}$；△接时小于 $1.5\%R_{av}$，则相电阻 R_ϕ 可按下式计算： Y接时，$R_\phi=0.5R_{av}$ △接时，$R_\phi=1.5R_{av}$ R_{av}为三个端电阻的平均值，Ω		在成品上测

续表

序号	项目	试验、检验目的	参照标准	试验、检验方法	合格标准	备注
3	绝缘电阻检验	考核绕组对地及相间的绝缘质量是否达到使用要求	GB/T 1032	若各相绕组始末端均引出机壳外，则分别测每相对机壳及其相互间绝缘电阻；若三相绕组已在内部接好，仅引出三个出线端时，则测量所有绕组对机壳的绝缘电阻。对绕线转子电机，则要加测转子绕组绝缘电阻。 电机额定电压 $U_N \leqslant 500V$ 时，用 500V 兆欧表测；$U_N > 500 \sim 3300V$ 时，用 1000V 表；$U_N > 3300V$ 时，用≥2500V 的表。测得绝缘电阻 R_M 应大于 $U_N/(1000+P_N/100)$(MΩ)，P_N 为电机额定功率，kW	$U_N = 380V$ 时，$R_M > 0.5M\Omega$ $U_N = 660V$ 时，$R_M > 0.66M\Omega$ $U_N = 6kV$ 时，$R_M > 6M\Omega$ $U_N = 10kV$ 时，$R_M > 10M\Omega$	在成品上测
4	空载试验	1. 测量空载电流、空载损耗。将数据与型式试验测得的值对比，观察有无“内伤”及其他反常现象。 2. 观察有无不正常响声、振动，轴承是否过热	GB/T 1032	将电机置于已接地的铁地平台上，施以额定电压，或借助调压器加压(U_0)。 若空载电流 I_0、空载损耗 P_0 与型式试验结果相差较大，应借助调压器补做空载特性曲线 $I_0 = f(U_0/U_N)$、$P_0 = f(U_0/U_N)$ 及 $P'_0 = f(U_0/U_N)^2$。U_0 值可在$(0.5 \sim 1.2)U_N$ 范围内取 5～7 点。在 $U_0 = U_N$ 点的纵坐标查取 I_0、P_0，与型式试验结果对比。若 $U_0 = f(I_0)$（将 I_0 值放在横坐标上，U_0 换到纵坐标）的形状与铁芯硅钢片的 $B = f(H)$ 形状基本吻合，P_{Fe} 也没明显变化，说明铁芯无问题。再查机械耗 P_j。若 P_j 与型式试验结果差得多，则查找风扇尺寸、轴承是否别劲。 $P'_0 = f(U_0/U_N)^2$ 与纵坐标交点 P，$P_0 = P_j$ 为机械耗； 从 P_0 在 $U_0 = U_N$ 的总高——$P_{Fe} + P_j$ 减去 P_j 即为 P_{Fe}	若空载电流、空载损耗与型式试验结果基本吻合；轴承温度不高；无不正常响声及振动，则合格	在成品上试，若测轴承温度，应在运转 30min 后测量

续表

序号	项目	试验、检验目的	参照标准	试验、检验方法	合格标准	备注
4	空载试验	1. 测量空载电流、空载损耗。将数据与型式试验测得的值对比，观察有无“内伤”及其他反常现象。 2. 观察有无不正常响声、振动；轴承是否过热	GB/T 1032	$P_0=f\left(\frac{U_0}{U_N}\right)$；$P_0'=f\left(\frac{U_0}{U_N}\right)^2$；$I_0=f\left(\frac{U_0}{U_N}\right)$；$I_0$、$P_0$、$P_0'$；$P$；$P_{Fe}$；$P_j$；$O$；$\frac{U_0}{U_N}$、$\left(\frac{U_0}{U_N}\right)^2$；1.0 异步电机的空载特性曲线 U_N—额定电压(V)；P_j—机械耗(W)；P_{Fe}—铁耗(W)		
5	堵转试验	1. 测取额定状态下堵转电流 I_{st} 堵转转矩 T_{st} 与型式试验对比是否有较大的出入 2. 通过对堵转电流的大小和三相平衡情况的分析察看定、转子绕组及磁路是否有问题	GB/T 1032	冷态下将转子堵住（堵前先试转向）。若绕线转子，应在集电环处短路。若因设备所限，很难在 U_N 下直接测得堵转转矩 T_{st}、堵转电流 I_{st} 及堵转功率 P_{st} 时，可采用降压法：比如从堵转时施加的电压 $U_K=0.8U_N$ 时开始，逐渐降低电压，取 4～7 点的读数，做出 P_{st}、I_{st}、T_{st} 随 U_K 变化的曲线，外推后取 $U_K=U_N$ 点的值，即为额定状态下的 P_{st}、I_{st}、T_{st} 的数值。取点时，U_K 越接 U_N、点数越多就越精确。 P I、T；$P_K=f(U_K)$；$I_K=f(U_K)$；$T_K=f(U_K)$；P_{st}；I_{st}；T_{st}；U_N；U_K	将求得的 I_{st}、T_{st} 与型式试验结果对比，若差别不太大（小于20%～30%），则基本合格	在成品上试，U_K 由高向低取点，使电机少发热。对工艺、材料波动、质量比较稳定的产品，可以仅测取 T_{st}

续表

序号	项目	试验、检验目的	参照标准	试验、检验方法	合格标准	备注
5	堵转试验	1. 测取额定状态下堵转电流 I_{st} 堵转转矩 T_{st} 与型式试验对比是否有较大的出入 2. 通过对堵转电流的大小和三相平衡情况的分析察看定、转子绕组及磁路是否有问题	GB/T 1032	对于功率较大的电机可以在控制 I_K 不低于(1.5～4.5)I_N 的限度内施加 U_K，用测得 I_K、T_K、P_K 算出 I_{st}、T_{st}： $$I_{st}=I_K\frac{U_N}{U_K}$$ $$T_{st}=T_K\left(\frac{U_N}{U_K}\right)^2$$ $T_K=9.549(P_K-P_{KCu1}-P_{KS})/n_1$(N·m) 式中 P_K——堵转时输入功率，W； P_{KCu1}——堵转时定子绕组 I^2R 损耗，$P_{KCu1}=1.5I_K^2R_{K1}$，W； I_K——测量点堵转电流的平均值，W； R_{K1}——测量点定子线电阻，Ω； n_1——同步转速，r/min； P_{KS}——堵转时杂耗(含铁耗)； 对中型低压电机，取 $P_{KS}=0.05P_K$ 对大、中型高压电机，取 $P_{KS}=0.1P_K$	将求得的 I_{st}、T_{st} 与型式试验结果对比，若差别不太大(小于20%～30%)，则基本合格	在成品上试，U_K 由高向低取点，使电机少发热。对工艺、材料波动、质量比较稳定的产品，可以仅测取 T_{st}
6	振动测试检验	检验电机的制造质量，动平衡精度是否满足使用要求	GB 10068.1～2	测量点位置、点数的选择见图，下图为座式轴承的测量点。点2～5尽量通过轴承支撑点的中心；点1在轴承外盖或座式轴承水平的中心位置，共6点。对于带外风扇的电机，可取消风扇端的轴向测点。对于正反转电机，应在轴伸端测量正、反两个方向的轴向振动值。 鉴于“乳胶海绵”及“含胶量为70%的橡胶板”容易老化，且压缩量也很难控制，参照目前国内制造及修理厂家的经验，被试电机的基础，均选用铁地平台，即刚性基础。若对中心高400mm	测得的振动速度有效值，6点中最大一点不超过2.8mm/s或用千分表测得的双向叠加的振幅值(也取最大一点)小于0.05mm时为合格品	在成品上试，测振仪的频率响应范围为10～1000Hz(或>1000Hz)，在此范围内，以80Hz

续表

序号	项目	试验、检验目的	参照标准	试验、检验方法	合格标准	备注
6	振动测试、检验	检验电机的制造质量，动平衡精度是否满足使用要求	GB 10068.1～2	以下的电机(标准规定采用弹性基础)不太放心，可用千分表在轴承外盖、底脚及机身其他部位(见上图)补测，若测得的双向叠加的振幅值小于 0.05mm，则可放心地投入使用(也可由此验证并找出它与测振仪测量结果间的对比关系) 铁地平台	测得的振动速度有效值，6 点中最大一点不超过 2.8mm/s 或用千分表测得的双向叠加的振幅值(也取最大一点)小于 0.05mm 时为合格品	时的相对灵敏度为基准，其他频率的相对灵敏度应在此基准的 ±10%～－20% 范围内。测量误差应小于 ±10%。对于转速低于 600r/min 的电机，应采用低频的传感器及测振仪，其误差应小于±10%

续表

<table>
<tr><th>序号</th><th>项目</th><th>试验、检验目的</th><th>参照标准</th><th>试验、检验方法</th><th>合格标准</th><th>备注</th></tr>
<tr><td>7</td><td>噪声测试试验</td><td>检验电机的设计、制造质量</td><td>GB 10069.1～3</td><td>如同测量振动，将电机置于铁地平台上，在空载状态下施以额定电压。在额定转速下，在距电机前、后、左、右上各 1m 的距离处用噪声测试仪测取 5 点的噪声值。若 5 点的噪声值彼此相差不超过 5dB，则取 5 点的平均值为测得的升压级噪声值。若超过 5dB，则应增加测量点，点数仍在距电机为 1m 处测量，取各点的平均值。
测量时，背景噪声应在 70dB 以下。否则，可从测得的噪声值中按下表减去测量值与背景噪声之差相对应的修正值作为电机的实际噪声值。
dB
<table>
<tr><th>测得的噪声与背景噪声之差</th><th>4</th><th>5</th><th>6</th><th>7</th><th>8</th><th>9</th><th>10</th></tr>
<tr><td>修正值</td><td>2.2</td><td>1.7</td><td>1.3</td><td>1.0</td><td>0.8</td><td>0.6</td><td>0.4</td></tr>
</table>
若与背景噪声之差小于 4dB，则测量无效。升压级噪声值 L_p 还要按 GB 10069 换算成声功率级 L_W，作为考核的电机噪声值。按照机座号换算结果见下表
<table>
<tr><th>机座号</th><th>225≤</th><th>250、280</th><th>315、355</th><th>400、450</th><th>500、560</th><th>630、710</th><th>>710</th></tr>
<tr><td>由 L_p 换算成 L_W 应增加的分贝值</td><td>6</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td><td>13～14</td></tr>
</table>
</td><td>见 GB 10069 及本书第四章</td><td>伴随环保逐日受到社会上的关注，噪声应作为电机的硬指标考核。电机噪声由电磁、机械及通风三部分构成，需设计、制造部门共同参与降低噪声。比如，拉掉电源后立即消失的那部分声音即为电磁噪声，应侧重从设计上查找原因。在成品上做</td></tr>
</table>

续表

序号	项目	试验、检验目的	参照标准	试验、检验方法	合格标准	备注
8	超速试验	检查电机旋转件的机械强度	GB/T 1032	提高被试电机电源频率或用辅助电机拖动，使被试电机的转速达到额定转速的1.2倍，历时2min。停机后，检查旋转件是否存在有害变形或开裂之处	目测无损伤、开裂或有害变形为合格	在成品上做；亦可用电机单独拖动转子（要带外风扇）
9	耐压试验	考核电机的绝缘质量	GB/T 1032	可以在有绕组的定子铁芯上做；亦可在成品上做。若在成品上做此试验，宜在上列8项试验完成后再做，此项施加的电压有效值 P_N<1kW 时，$V=500+2U_N$(V) P_N>1kW 时，$V=2U_N+1000$(V) 电压应施加于绕组与机壳之间，其余不参与试验的绕组应与机壳连接。 施加的电压从全值试验值的1/2开始，然后以不超过全值5%均匀地或分段地增加到全值，时间应大于10s，全值电压持续时间为1min，然后逐渐降至全值的1/2再断开电源。 对于修理时部分重绕的电机，试验电压应不超过上列 V 值的75%。 对于 $U_N \leqslant 600$V 电机，允许将试验电压值提高20%，施压时间仅用1s。 对于拆装清理过的电机，干燥后用 $1.5U_N$ 做耐压试验。但 U_N<100V 时，至少为500V	未出现破压击穿为合格	在成品或半成品上做。耐压试验仅在出厂检查时做一次。若需再做一次，则试验值不应超过规定值的80%

续表

序号	项目	试验、检验目的	参照标准	试验、检验方法	合格标准	备注
10	轴电压、轴电流的测定	限定轴电压、轴电流，以免对钨金瓦产生电腐蚀		1. 轴电压的测定 被试电机在额定电压下空载运行。用高内阻电压表，如真空管、晶体管或热电式电压表测量轴电压 U_1。然后将转轴一端与其轴承座短接，测另一轴承对地的轴电压 U_2。测点表面与电压表引线应接触良好。同时还应分别检查轴承座与金属垫片、金属垫片与金属底座间的绝缘电阻。 1—轴承座；2—绝缘垫片；3—金属垫片；4—绝缘垫片；5—转子 当 $U_1=U_2$ 时，说明轴承绝缘良好； $U_1>1.1U_2$ 时，绝缘不良； ($U_2>U_1$ 时，试错) 2. 轴电流的检查 (1)被试电机在额定电压、额定转速下空载运转，用内阻较高的毫伏表测量轴两端的感应电势，或用低电阻导线将电流表(量程 60A 以上)连接于轴的两端，测量电流值 (2)在额定功率(或接近额定功率)、额定电压及额定转速下，将毫伏表连接到尽可能靠近轴承座两端的轴表面上，检测由轴磁通而产生的局部电流	轴电压小于 0.5V	在成品上做。左图为座式轴承示意图。参照左图接线可以测量端盖式滑动轴承(RENK)的轴电压、轴电流

续表

<table>
<tr><th>序号</th><th>项目</th><th>试验、检验目的</th><th>参照标准</th><th>试验、检验方法</th><th>合格标准</th><th>备　注</th></tr>
<tr><td>11</td><td>水压试验</td><td>检查隔爆型电机外壳上零部件的机械强度及零部件是否存在不允许的缺陷</td><td>GB 3836</td><td>1. 水压试验用的水按以下溶液配比(质量比)配制：<table><tr><th>磷酸钠</th><th>碳酸钠</th><th>亚硝酸钠</th><th>水</th></tr><tr><td>1%～1.3%</td><td>0.5%～0.8%</td><td>0.5%～0.6%</td><td>97.3%～98%</td></tr></table>2. 试验时对被试件施加的压力：
Ⅰ类、ⅡA、ⅡB级隔爆的零部件为1MPa，ⅡC为1.5MPa
3. 施压时间：1min</td><td>被试的零部件无结构损坏或可能影响隔爆性能的永久变形为合格</td><td></td></tr>
<tr><td>12</td><td>隔爆参数检查</td><td>检查零部件及整机是否符合相应隔爆等级的规定</td><td>GB 3836.2</td><td>借助检测工具检查隔爆面、电气间隙、爬电距离是否符合相应隔爆等级的规定</td><td>按 GB 3836.2 的要求进行考核</td><td>在零部件及整机上进行</td></tr>
<tr><td>13</td><td>气隙检查</td><td>检查气隙是否符合防爆规程的规定</td><td>GB 3836.3</td><td>借助电机端盖上的三个气隙孔及塞尺检查定、转子间隙。三个孔互成120°，测得的最小值应大于由下式求得的数值
允许的最小单边气隙 $=\left[0.15+\frac{D-50}{780}\left(0.25+\frac{0.75n}{1000}\right)\right]rb$ (mm)
式中　D——转子直接，$75\leqslant D\leqslant 750$；
n——额定转速，r/min，最小值取1000；
r——铁芯长，mm，最小值取1.0；
b——1.0(对于采用滚动轴承电机)或1.5(滑动轴承)</td><td>大于由左式求得的数值</td><td>在整机上进行，仅增安型电机有此规定</td></tr>
</table>

续表

序号	项目	试验、检验目的	参照标准	试验、检验方法	合格标准	备注
14	堵转温升 t_E 的测量	验证在规定的堵转时间内定、转子温升是否超过规定值	GB 3836.3	将笼型转子堵住，定子施以额定电压，时间至少为 5s，测量定、转子绕组温升(转子可用热敏元件测量)。 若电机功率大于 160kW，可用计算法，按允许的极限温度求出 t_E。定子绕组温升 $\Delta\theta$ 与时间 t 的比按下式计算 $$\frac{\Delta\theta}{t}=aj^2b$$ $j=I_A$/导线截面积 式中 j——启动电流密度，A/mm^2； a——材料的计算常数，对于铜绕组 $a=0.0065℃/(A/mm^2)^2s$； b——衰减系数，取 0.85 I_A 为通电 5s 测得的定子电流(称最初起动电流)若电机较大，可在低压 U 下求得 5s 时电流 I'_A，然后折算到额定电压 U_N 时电流即为 I_A。$I_A=I'_AU_N/U$。t_E 求取如下图： 确定 t_E 的图例 OA—允许最高环境温度；OB—额定运行时的温度；OC—极限温度；t—时间；θ—温度；1—额定运行时的温升；2—转子堵转试验时的温升	t_E 时间终了时的极限温度对于 F 级绝缘不超过 210℃、H 级不超过 235℃ 为合格；或者在温度不超过极限值，堵转时间 $t_E>5s$，也为合格	仅增安型电机有此规定

续表

序号	项目	试验、检验目的	参照标准	试验、检验方法	合格标准	备注
14	堵转温升t_E的测量	验证在规定的堵转时间内定、转子温升是否超过规定值	GB 3836.3	由差值BC和电机堵转时的温升速率(由测量法或计算求得)就可以确定t_E。 上述计算应对定、转子分别进行,取两者中较小值作为电机对应于相应温度组别的t_E。 若按公式,变换后$t=\Delta\theta/(aj^2b)$,求得的t,若$t>5s$,则合格。否则,应降低j,即加大导线截面积	t_E时间终了时的极限温度对于F级绝缘不超过210℃、H级不超过235℃为合格;或者在温度不超过极限值,堵转时间$t_E>5s$,也为合格	仅增安型电机有此规定
15	观察增安型电机运行时有无火花	确保使用中安全,不引燃周围爆炸性介质	GB 3836.3	将电机施以额定电压,在暗室中运行,观察有无火花、弧光产生	无火花为合格	仅增安型电机有此要求

检查外，主要的检验项目是绕组的匝间耐压检验及绕组的对地耐压检验，见表 7-2。

7-5 成品时应做哪些试验、检验项目？

成品应做的试验、检验项目见表 7-2。

7-6 检修后的电机的性能指标如何控制？

因为是检修，修后的性能指标与制造厂的正常产品略有不同，但必须保证使用。在保证使用的前提下，技术参数可参考表 7-3 所列的波动范围予以控制。但波动范围不能超越性能指标的容差。

表 7-3 技术参数波动范围 %

技术参数	参考波动范围	技术参数	参考波动范围
R_1(定子电阻)	±1.5	η	±1.0
I_0(空载电流)	−5.5～6.0	$\cos\varphi$	±1.5
P_0(空载损耗)	±10	T_{max}	±3.0
P_K(短路功率)	−7.0～8.0	T_{st}	−2.5～3.0
s(转差)	±10	I_{st}	−3.2～3.5

7-7 为什么要强调检修后的质量？

因为目前国内承接防爆电机检修部门较多，在技术水平、加工能力上彼此相差很大；被修电机的修理深度也不同，有的几乎相当于重新设计、制造。防爆、防腐电机使用的场所比较重要，所以要强调检修质量。

7-8 怎样保证检修质量？

本书对保证检修后的电机质量所应采取的措施基本上作了较全面地阐述，归纳如下。

① 检修后要符合防爆规程，保证安全使用；

② 通过控制电密、磁密，温升裕度要保证；

③ 振动、噪声不能超标；

④ 通风散热结构至少要维持修前状况；

⑤ 绝缘处理，特别是浸漆，不可掉以轻心；

⑥ 轴承相关零部件的加工及装配要处理妥善，空转时要无杂音，温度也不能高；

⑦ 电机的技术指标要维持在修前的水平上；

⑧ 零部件及整机的同轴度要满足使用要求。

7-9　怎样提高检修质量？

提高修理质量应从以下 6 个方面入手：

① 搞清被修电机的原来技术参数，经分析、鉴别后，合理地留与舍。比如，将 Y400-6，400kW（无铭牌，也可能是 355kW，见第二章第三节）电机由 6kV 改为 10kV 时，原电机定子 72 槽，节距是 1～12，$\beta=\frac{11}{12}=0.917$，不合适。改为 10kV 时应予调整到 1～11，$\beta=\frac{10}{12}=0.833$。总之，既不要盲目照搬，又不宜不加分析地随意改动。

② 了解电机的使用环境、所拖动的设备及其工作状况，有针对性地调整技术参数。比如，当电机使用场所地网络容量很小，拖动的负荷为轴流式风扇或泵时，可将 T_{st} 减小，由它挖出来的“油水”贴补到 I_{st} 上，使启动电流降低。既满足了使用要求，又迁就了变压器小启动困难的劣势。

③ 设计、制造中不留隐患。比如，极数由多改少后，气隙也要随之增加一点。否则，电机的温升、电磁噪声都有可能增加；制造上，焊接件时效应到位，轴承结构要处理妥善等。

④ 采用新技术。比如，采用少胶带 VPI 工艺。由于绝缘减薄，在槽中挖出的空隙可以用到增加导线截面，提高效率及温升裕度上；或者用到增加定子绕组的匝数，提高 $\cos\varphi$ 上。

⑤ 提高效率、功率因数，降低振动、噪声，与节能、环保国策合拍。

⑥ 把握关键工序——铁芯浸漆、时效、同轴度、动平衡及轴承结构的制造质量。

只要修理部门能脚踏实地按照以上所述修理电机，就能保证修理质量，甚至不排除胜过制造厂新出厂的产品。

附录　国内外防爆

附录1　BJ02系列低压

机座号	功率/kW-极数	铁芯尺寸/mm			线规/mm	匝数	节距	接法	槽配合	气隙/mm	轴承
		外径	内径	铁芯长							
11	0.8-2	120	67	65	1-0.67	94	1～12	1Y	24/20	0.3	60204×2
12	1.1-2			85	1-0.77	72	2～11				
11	0.6-4		75	85	1-0.59	118	1～6		24/22	0.25	
12	0.8-4			100	1-0.67	96					
21	1.5-2	145	80	75	2-0.67	65	1～12	1Y	24/20	0.4	60305×2
22	2.2-2			100	2-0.74	54	2～11				
21	1.1-4		90	85	1-0.74	83	1～6		24/26	0.35	
22	1.5-4			115	1-0.86	64					
21	0.8-6		94	85	1-0.69	82			36/33	0.25	
22	1.1-6			115	1-0.8	62					
31	3-2	167	94	95	2-0.86	43	1～12	1Y	24/20	0.5	60306×2
32	4-2			125	1-1.08	58	2～11	1△			
31	2.2-4		104	95	1-1.0	43	2～1～9	1Y	36/26	0.3	
32	3-4			135	2-0.8	32	1～1～8				
31	1.5-6		110	95	2-0.67	61	1～6		36/33	0.35	
32	2.2-6			135	2-0.77	44					
41	5.5-2	210	120	110	2-0.96	53	1～12	1△	24/20	0.7	60308×2
42	7.5-2			135	2-1.08	43	2～11				
41	4-4		136	100	1-1.0	52	2～1～9		36/26	0.35	
42	5.5-4			125	2-0.8	42	1～1～8				
41	3-6		148	110	2-0.86	40	1～6	1Y	36/33	0.35	
42	4-6			140	2-0.77	55		1△			
41	2.2-8			110	2-0.83	38		1Y	48/44	0.35	
42	3-8			140	1-0.93	62		2Y			
51	10-2	245	136	130	3-1.04	40	1～12	1△	24/20	0.9	60309×2
52	13-2			170	3-1.16	32	2～11				
51	7.5-4		162	120	2-1.0	38	2～1～9		36/26	0.4	
52	10-4			160	2-1.16	29	1～1～8				
51	5.5-6		174	130	2-0.86	49	1～6		36/33	0.35	
52	7.5-6			170	1-1.0 1-1.08	37					
51	4-8			130	2-0.83	48			48/44	0.35	
52	5.5-8			170	1-0.93	74		2△			

电机技术数据

隔爆型电机技术数据

技术指标					安装尺寸/mm									电机质量/kg
$\eta/\%$	$\cos\varphi$	T_{st}/T_N	I_{st}/I_N	T_m/T_N	A	B	C	D	E	F	G	H	K	
77.5	0.85	1.8	7	2.2	140	100	56	18	40	5	14.8	90	11	24
79.5	0.86					125								25
74	0.76	1.8	7	2.0		100								24
76.5	0.77					125								26
81	0.87	1.8	7	2.2	160	112	63	22	50	6	18.2	100	13	35
82.5	0.87					140								38
79	0.79	1.8	7	2.0		112								33
80.5	0.81					140								39
75	0.70		6.5	1.8		112								33
77	0.72					140								38
84	0.88	1.8	7	2.2	190	140	70	28	60	8	23.5	112	13	53
85.5	0.88					159								58
82	0.83		7	2.0		140								50
83.5	0.84					159								58
78.5	0.74		6.5	1.8		140								50
80.5	0.76					159								57
86.5	0.88	1.6	7	2.2	216	140	89	32	80	10	26.8	132	13	80
87.5	0.88					178								89
85	0.85	1.8	7	2.0		140								76
86	0.86					178								91
82.5	0.78	1.8	6.5	1.8		140								77
84	0.79					178								87
80.5	0.68	1.8	5.5	1.8		140								76
82.5	0.72					178								87
87.5	0.88	1.4	7	2.2	254	178	108	38	80	12	32.8	160	16	123
88	0.88					210								138
87	0.87	1.4	7	2.0		178								118
87.5	0.87					210								138
85	0.80	1.4	6.5	1.8		178								119
86	0.81					210								138
84	0.75	1.5	5.5	1.8		178								121
85	0.77					210								135

机座号	功率/kW-极数	铁芯尺寸/mm			线规/mm	匝数	节距	接法	槽配合	气隙/mm	轴承
		外径	内径	铁芯长							
61	17-2	280	155	165	2-1.25	26	1～11	2△	30/22	0.7	309 2309
61	13-4		182	155	2-1.35	14	1～9	1△	36/46	0.55	
62	17-4			190	2-1.35 1-1.25	12					
61	10-6		200	175	2-1.16	12	1～9		54/44	0.5	
62	13-6			220	2-1.35	10					
61	7.5-8			175	2-1.08	16	1～7		54/58	0.5	
62	10-8			220	1-1.25	25		2△			
71	22-2	327	182	175	2-1.35	20	1～13	2△	36/28	1.0	311 2311
72	30-2			200	2-1.25 1-1.35	16					
71	22-4		210	175	1-1.45 1-1.35	21	1～9		36/46	0.6	
72	30-4			235	2-1.35 1-1.25	16					
71	17-6		230	200	2-1.25 1-1.16	9	1～9	1△	54/44	0.55	
72	22-6			250	1-1.16 1-1.25	14		2△			
71	13-8			200	1-1.35	21	1～7		54/58	0.55	
72	17-8			250	2-1.08	17					
82	40-2	368	210	240	2-1.35 2-1.45	13	1～13	2△	36/28	0.95	314 2314
82	40-4		245	275	3-1.56	10	1～11		48/38	0.65	
81	30-6		260	240	2-1.25	16	1～11	3△	72/58	0.5	
82	40-6			310	2-1.08	25		6△			
81	22-8			240	2-1.35	13	1～9	2△		0.5	
82	30-8			310	2-1.62	10					
91	55-2	423	260	200	5-1.56	11	1～14	2△	36/28	1.5	317×2
92	75-2			280	5-1.56 2-1.45	8					
93	100-2			390	8-1.62	6					
91	55-4		280	260	3-1.25	17	1～13	4△	60/50	1.0	317 2317
92	75-4			340	3-1.45	13					
93	100-4			440	4-1.45	10					
91	55-6		300	320	3-1.35	10	1～11	3△	72/58	0.6	
92	75-6			425	2-1.35 2-1.45	8					
91	40-8			320	2-1.25	17	1～9	4△		0.6	
92	55-8			425	3-1.25	13					

注：机座号≤52，定子绕组为单层；机座号≥61，定子绕组为双层。

续表

技术指标					安装尺寸/mm									电机质量/kg
η/%	$\cos\varphi$	T_{st}/T_N	I_{st}/I_N	T_m/T_N	*A*	*B*	*C*	*D*	*E*	*F*	*G*	*H*	*K*	
88.5	0.9	1.3	7	2.2	279	203	121	42	110	12	36.8	180	16	180
88	0.88	1.3	7	2.0										202
89	0.88	1.3	7	2.0		241								220
87	0.82	1.4	6.5	1.8		203								198
87.5	0.83	1.4	6.5	1.8		241								212
86	0.78	1.3	5.5	1.8		203								198
87	0.80	1.3	5.5	1.8		241								212
88.5	0.90	1.2	7	2.2	356	286	149	48	110	14	42.2	225	20	281
89.5	0.91	1.2	7	2.2		311								319
89.5	0.88	1.2	7	2.0		286								290
90	0.88	1.2	7	2.0		311								335
88.5	0.84	1.4	6.5	1.8		286								290
89	0.85	1.4	6.5	1.8		311								335
87.5	0.81	1.3	5.5	1.8		286								285
88	0.82	1.3	5.5	1.8		311								310
90	0.91	1.2	6.5	2.2	406	349	168	60	140	18	52.9	250	25	520
91	0.89	1.2	6.5	2.0										520
89.5	0.86	1.4	6.5	1.8		311								455
90.5	0.87	1.4	6.5	1.8		349								520
88.5	0.82	1.3	5.5	1.8		311								450
89	0.83	1.3	5.5	1.8		349								523
90	0.92	1.2	6.5	2.2	457	368	190	70	140	20	62.2	280	25	710
91	0.92	1.1	6.5	2.2		419								820
91.5	0.92	1.1	6.5	2.2		419								900
91.5	0.89	1.2	6.5	2.0		368								710
92	0.90	1.1	6.5	2.0		419								820
92	0.90	1.1	6.5	2.0		419								900
91.5	0.88	1.2	6.5	1.8		368								710
92	0.89	1.2	6.5	1.8		419								820
90	0.84	1.3	5.5	1.8		368								710
91.0	0.84	1.3	5.5	1.8		419								820

附录 2 YB 系列低压隔爆

机座号	功率/kW-极数	铁芯尺寸/mm			线规/mm	匝数	节距	接法	槽配合	气隙/mm	轴承
		外径	内径	铁芯长							
801	0.75-2	120	67	65	1-0.63	111	1～9 2～10 11～18	1Y	18/16	0.3	M180 204Z_1×2
802	1.1-2			80	1-0.71	90					
801	0.55-4		75	65	1-0.56	128	1～6		24/22	0.25	
802	0.75-4			80	1-0.63	103					
90S	1.5-2	130	72	85	1-0.85	74	1～9 2～10 11～18	1Y	18/16	0.35	M180 205Z_1×2
90L	2.2-2			110	1-0.95	58					
90S	1.1-4		80	90	1-0.71	81	1～6		24/22	0.25	
90L	1.5-4			120	1-0.80	63					
90S	0.75-6		86	100	1-0.67	77			36/33	0.25	
90L	1.1-6			120	1-0.75	63					
100L	3-2	155	84	100	1-0.71 1-0.95	40	1～12 2～11	1Y	24/20	0.4	M180 206Z_1×2
100L_1	2.2-4		98	105	2-0.71	41	1～9 2～10 11～18		36/26	0.3	
100L_2	3-4			135	1-0.71 1-0.95	31					
100L	1.5-6		106	100	1-0.85	53	1～6		36/33	0.25	
112M	4-2	175	98	105	1-1.06	48	同 5.5-2	1△	30/26	0.45	M180 306Z_1×2
112M	4-4		110	135	1-1.06	46	1～9 2～10 11～18		36/26	0.3	
112M	2.2-6		120	110	1-1.06	44	1～6	1Y	36/33	0.3	
132S_1	5.5-2	210	116	105	1-0.9 1-0.95	44	1～16 2～15 3～14 1～14 2～13	1△	30/26	0.55	M180 308Z_1×2
132S_2	7.5-2			125	1-1.0 1-1.06	37					
132S	5.5-4		136	115	1-0.9 1-0.95	47	1～9 2～10 11～18		36/32	0.4	
132M	7.5-4			160	2-1.06	35					
132S	3-6		148	110	1-0.85 1-0.9	38	1～6	1Y	36/33	0.35	
132M_1	4-6			140	1-1.06	52		1△			
132M_2	5.5-6			180	1-1.25	42					
132S	2.2-8		148	110	1-1.12	39	1～6	1Y	48/44	0.35	
132M	3-8			140	1-1.3	31					

型电机技术数据

技术指标					安装尺寸/mm									电机质量/kg
η/%	$\cos\varphi$	T_{st}/T_N	I_{st}/I_N	T_m/T_N	A	B	C	D	E	F	G	H	K	
75	0.84	2.2	7	2.2	125	100	50	19	40	6	15.5	80	10	23
77	0.86					100								24
73	0.76		6.5			100								23
74.5	0.76					100								24
78	0.85	2.2	7	2.2	140	100	56	24	50	8	20.0	90	10	31
82	0.86					125								37
78	0.78		6.5			100								33
79	0.79					125								37
72.5	0.70	2	6	2		100								33
73.5	0.72					125								38
82	0.87	2.2	7	2.2	160	140	63	28	60	8	24.0	100	12	45
81	0.82													45
82.5	0.81													47
77.5	0.74	2	6	2										44
85.5	0.87	2.2	7	2.2	190	140	70	28	60	8	24.0	112	12	53
84.5	0.82													58
80.5	0.74	2	6	2										53
85.5	0.88	2	7	2.2	216	140	89	38	80	10	33.0	132	12	77
86.2	0.88													84
85.5	0.84	2.2												80
87	0.85					178								95
83	0.76	2	6.5	2		140								76
84	0.77					178								86
85.3	0.78													101
81	0.71		5.5			140								77
														87

机座号	功率/kW-极数	铁芯尺寸/mm			线规/mm	匝数	节距	接法	槽配合	气隙/mm	轴承
		外径	内径	铁芯长							
$160M_1$	11-2	260	150	125	2-1.18 1-1.25	28	1～16 2～15 3～14 1～14 2～14	1△	30/26	0.65	$M309Z_1$×2
$160M_2$	15-2			155	2-1.12 2-1.18	23					
160L	18.5-2			195	3-1.12 2-1.18	19					
160M	11-4		170	155	2-1.3	28	1～9 2～10 11～18		36/26	0.5	$M309Z_1$ $M2309Z_1$
160L	15-4			195	2-1.25 1-1.18	22					
160M	7.5-6	260	180	145	2-1.12	38	1～6	1△	36/33	0.5	$M309Z_1$ $M2309Z_1$
160L	11-6			195	4-0.95	28					
$160M_1$	4-8		180	110	1-1.25	51	1～6		48/44	0.4	
$160M_2$	5.5-8			145	2-1.0	39					
160L	7.5-8			195	1-1.12 1-1.18	30					
180M	22-2	290	160	175	2-1.3 2-1.4	8	1～14	1△	36/28	0.8	$M310Z_1$×2
180M	18.5-4		180	190	2-1.18	16	1～11	2△	48/44	0.55	$M310Z_1$ $M2310Z_1$
180L	22-4			220	2-1.3	14					
180L	15-6		205	200	1-1.5	17	1～9		54/44	0.45	
180L	11-8		205	200	2-0.9	23	1～7		54/58	0.45	
$200L_1$	30-2	327	182	180	2-1.12 2-1.18	14	1～14	2△	36/28	1.0	$M312Z_1$×2
$200L_2$	37-2			210	2-1.4 2-1.5	12					
200L	30-4		210	230	2-1.06 2-1.12	12	1～11		48/44	0.65	$M312Z_1$ $M2312Z_1$
$200L_1$	18.5-6		230	190	1-1.12 1-1.18	16	1～9		54/44	0.5	
$200L_2$	22-6			220	2-1.25	14					
200L	15-8		230	190	1-1.5	20	1～7		54/50	0.5	
225M	45-2	368	210	210	1-1.4 3-1.5	11	1～14	2△	36/28	1.1	$M313Z_1$×2
225S	37-4		245	200	2-1.25	23	1～12	4△	48/44	0.7	$M313Z_1$ $M2313Z_1$
225M	45-4			235	2-1.4 2-1.3	10		2△			
225M	30-6		260	200	2-1.3 1-1.4	14	1～9		54/44	0.5	
225S	18.5-8		260	165	2-1.4	20	1～7		54/50	0.5	
225M	22-8			200	2-1.5	17					

续表

<table>
<tr><th colspan="5">技 术 指 标</th><th colspan="9">安装尺寸/mm</th><th rowspan="2">电机质量/kg</th></tr>
<tr><th>$\eta/\%$</th><th>$\cos\varphi$</th><th>T_{st}/T_N</th><th>I_{st}/I_N</th><th>T_m/T_N</th><th>A</th><th>B</th><th>C</th><th>D</th><th>E</th><th>F</th><th>G</th><th>H</th><th>K</th></tr>
<tr><td>87.2</td><td>0.88</td><td rowspan="3">2</td><td rowspan="5">7</td><td rowspan="5">2.2</td><td rowspan="5">254</td><td rowspan="2">210</td><td rowspan="5">108</td><td rowspan="5">42</td><td rowspan="5">110</td><td rowspan="5">12</td><td rowspan="5">37.0</td><td rowspan="5">160</td><td rowspan="5">15</td><td>135</td></tr>
<tr><td>88.2</td><td>0.88</td><td>151</td></tr>
<tr><td>89</td><td>0.89</td><td>254</td><td>170</td></tr>
<tr><td>88</td><td>0.84</td><td rowspan="2">2.2</td><td>210</td><td>148</td></tr>
<tr><td>88.5</td><td>0.85</td><td>254</td><td>166</td></tr>
<tr><td>86</td><td>0.78</td><td rowspan="5">2</td><td rowspan="2">6.5</td><td rowspan="5">2</td><td rowspan="5">254</td><td>210</td><td rowspan="5">108</td><td rowspan="5">42</td><td rowspan="5">110</td><td rowspan="5">12</td><td rowspan="5">37.0</td><td rowspan="5">160</td><td rowspan="5">15</td><td>141</td></tr>
<tr><td>87</td><td>0.78</td><td>254</td><td>165</td></tr>
<tr><td>84</td><td>0.73</td><td rowspan="2">6</td><td rowspan="2">210</td><td>123</td></tr>
<tr><td>85</td><td>0.74</td><td>141</td></tr>
<tr><td>86</td><td>0.75</td><td>5.5</td><td>254</td><td>165</td></tr>
<tr><td>89</td><td>0.89</td><td rowspan="3">2</td><td rowspan="3">7</td><td rowspan="3">2.2</td><td rowspan="5">279</td><td rowspan="2">241</td><td rowspan="5">121</td><td rowspan="5">48</td><td rowspan="5">110</td><td rowspan="5">14</td><td rowspan="5">42.5</td><td rowspan="5">180</td><td rowspan="5">15</td><td>215</td></tr>
<tr><td>91</td><td>0.86</td><td>220</td></tr>
<tr><td>91.5</td><td>0.86</td><td rowspan="3">279</td><td>270</td></tr>
<tr><td>89.5</td><td>0.81</td><td>1.8</td><td>6.5</td><td rowspan="2">2</td><td>260</td></tr>
<tr><td>86.5</td><td>0.77</td><td>1.7</td><td>6</td><td>255</td></tr>
<tr><td>90</td><td>0.89</td><td rowspan="3">2</td><td rowspan="3">7</td><td rowspan="3">2.2</td><td rowspan="6">318</td><td rowspan="6">305</td><td rowspan="6">133</td><td rowspan="6">55</td><td rowspan="6">110</td><td rowspan="6">16</td><td rowspan="6">49.0</td><td rowspan="6">200</td><td rowspan="6">19</td><td>264</td></tr>
<tr><td>90.5</td><td>0.89</td><td>290</td></tr>
<tr><td>92.2</td><td>0.87</td><td>300</td></tr>
<tr><td>89.8</td><td>0.83</td><td rowspan="2">1.8</td><td rowspan="2">6.5</td><td rowspan="2">2</td><td>265</td></tr>
<tr><td>90.2</td><td>0.83</td><td>287</td></tr>
<tr><td>88</td><td>0.76</td><td>1.8</td><td>6</td><td>2</td><td>265</td></tr>
<tr><td>91.5</td><td>0.89</td><td>2</td><td rowspan="3">7</td><td rowspan="3">2.2</td><td rowspan="6">356</td><td>311</td><td rowspan="6">149</td><td>55</td><td>110</td><td>16</td><td>49.0</td><td rowspan="6">225</td><td rowspan="6">19</td><td>420</td></tr>
<tr><td>91.8</td><td>0.87</td><td rowspan="2">1.9</td><td>286</td><td rowspan="5">60</td><td rowspan="5">140</td><td rowspan="5">18</td><td rowspan="5">53.0</td><td>390</td></tr>
<tr><td>92.3</td><td>0.88</td><td rowspan="2">311</td><td>440</td></tr>
<tr><td>90.2</td><td>0.85</td><td>1.7</td><td>6.5</td><td rowspan="3">2</td><td>405</td></tr>
<tr><td>89.5</td><td>0.76</td><td>1.7</td><td rowspan="2">6</td><td>286</td><td>353</td></tr>
<tr><td>90</td><td>0.78</td><td>1.8</td><td>311</td><td>402</td></tr>
</table>

机座号	功率/kW-极数	铁芯尺寸/mm			线规/mm	匝数	节距	接法	槽配合	气隙/mm	轴承
		外径	内径	铁芯长							
250M	55-2	400	225	195	6-1.4	10	1～14	2△	36/28	1.2	M314Z_1×2
250M	55-4		260	240	3-1.3	18	1～12	4△	48/44	0.8	M314Z_1 M2314Z_1
250M	37-6		285	225	1-1.12 2-1.18	14	1～12	3△	72/58	0.55	
250M	30-8		285	225	3-1.3	11	1～9	2△	72/58	0.55	
280S	75-2	445	255	225	7-1.5	7	1～16	2△	42/34	1.5	M314Z_1×2
280M	90-2			260	8-1.5	6					
280S	75-4		300	240	2-1.25 2-1.3	13	1～14	4△	60/50	0.9	M314Z_1 M2314Z_1
280M	90-4			325	5-1.3	10					
280S	45-6		325	215	2-1.3 1-1.4	13	1～12	3△	72/58	0.65	
280M	55-6			260	1-1.4 2-1.5	11					
280S	37-8	445	325	215	2-1.3	20	1～9	4△	72/58	0.65	M314Z_1 M2314Z_1
280M	45-8			260	1-1.4 1-1.5	17					
315S	110-2	520	300	290	13-1.5	4.5	1～18	2△	48/40	1.8	316Z_1×2
315M	132-2			340	16-1.5	4					
315L	160-2			380	21-1.5	3.5					
315S	110-4		350	290	2-1.5 4-1.4	8.5	1～16	4△	72/64	1.2	319Z_1 2319Z_1
315M	132-4			380	2-1.5 5-1.4	7					
315L	160-4			420	8-1.5	6					
315S	75-6		375	290	1-1.3 2-1.4	19	1～11	6△	72/58	1.0	
315M	90-6			340	1-1.4 2-1.5	16					
315L_1	110-6			380	2-1.4 2-1.5	14					
315L_2	132-6			450	5-1.5	12					
315S	55-8		390	290	3-1.0	29	1～9	8△	72/58	0.9	
315M	75-8			380	4-1.4	11		4△			
315L_1	90-8			420	5-1.4	10					
315L_2	110-8			480	3-1.5	17		8△			
315S	45-10		390	290	3-1.3	19	1～9	5△	90/72	0.9	
315M	55-10			360	3-1.5	15					
315L	75-10			440	4-1.5	11					

续表

技术指标					安装尺寸/mm										电机质量/kg
η/%	$\cos\varphi$	T_{st}/T_N	I_{st}/I_N	T_m/T_N	A	B	C	D	E	F	G	H	K	
91.5	0.89	2	7	2.2	406	349	168	60	140	18	53.0	250	24	505
92.6	0.88							65			58.0			510
90.8	0.86	1.8	6.5	2										505
90.5	0.80	1.8	6											470
91.5	0.89	2	7	2.2	457	368	190	65	140	18	58.0	280	24	650
92	0.89					419								700
92.7	0.88	1.9				368		75		20	67.5			650
93.5	0.89					419								800
92	0.87	1.8	6.5	2		368								620
92	0.87					419								690
91	0.79	1.8	6	2	457	368	190	75	140	20	67.5	280	24	610
91.7	0.80					419								690
92.5	0.89	1.8	7	2.5	508	406	216	65	140	18	58.0	315	28	950
93	0.89					457								1000
93.5	0.89					508								1150
93.5	0.89					406		80	170	22	71.0			900
94	0.89					457								980
94.5	0.89					508								1150
93	0.87	1.6	6.5	2.0		406								840
93.4	0.87			2.2		457								900
93.7	0.87					508								980
94	0.87													1150
92.5	0.80					406								840
93	0.81					457								900
93	0.82					508								980
93.5	0.82													1150
91.5	0.74	1.4	6.5	2.2		406								840
92	0.74		6	2.0		457								900
92.5	0.75					508								1100

机座号	功率/kW-极数	铁芯尺寸/mm			线规/mm	匝数	节距	接法	槽配合	气隙/mm	轴承
		外径	内径	铁芯长							
$355S_1$	185-2	590	327	300	24-1.5	4	1～17	2△	48/40	2.2	$D317Z_1$ $7D2317Z_1$
$355S_2$	200-2			340	27-1.5	3.5	1～18				
$355S_3$	220-2			340	30-1.5	3.5					
$355S_4$	250-2			400	34-1.5	3					
355M	280-2			440	37-1.5	3	1～17				
355L	315-2			500	42-1.5	2.5	1～18				
$355S_1$	185-4		380	340	12-1.5	6.5	1～16	4△	72/64	1.5	$320Z_1$ $2320Z_1$
$355S_2$	200-4			340	12-1.5	6.5					
$355S_3$	220-4			420	13-1.5	5.5					
$355S_4$	250-4			450	15-1.5	5					
355M	280-4			520	17-1.5	4.5					
355L	315-4			590	19-1.5	4					
$355S_2$	160-6		450	400	5-1.5	12	1～11	6△	72/58	1.2	
$355S_3$	185-6			420	3-1.4 3-1.5	11					
$355S_4$	200-6			480	6-1.5	10					
355M	220-6			520	7-1.5	9					
355L	250-6			590	7-1.6	8					
$355S_2$	132-8		450	400	2-1.3 2-1.4	18	1～9	8△	72/58	1.1	
$355S_4$	160-8			480	4-1.5	15					
355M	185-8			500	4-1.4 1-1.5	14					
355L	200-8			590	5-1.5	12					
$355S_2$	90-10		450	340	4-1.5	12	1～9	5△	90/72	1.0	
$355S_4$	110-10			380	4-1.4 1-1.5	11					
355M	132-10			420	4-1.5 1-1.6	10					
355L	160-10			550	4-1.5 2-1.6	8					
$355S_1$	75-12		475	440	3-1.4	15	1～6	6△	90/72	0.8	
$355S_2$	90-12			480	3-1.5	13	1～7				

注：机座号≤160，定子绕组为单层；机座号≥180，定子绕组为双层。

续表

技术指标					安装尺寸/mm									电机质量/kg
η/%	$\cos\varphi$	T_{st}/T_N	I_{st}/I_N	T_m/T_N	A	B	C	D	E	F	G	H	K	
95	0.9	1.7	7	2.6	610	500	254	75	140	20	67.5	355	28	1420
95	0.9													1490
95	0.9													1550
95	0.9													1630
95	0.9					560								1775
95	0.9					630								1900
94.5	0.88	1.6	6.5	2.2		500		90	170	25	81.0			1695
94.5	0.88													1738
95	0.88													1820
95	0.88													1890
95	0.88					560								2095
95	0.88					630								2180
94	0.87	1.5	6.5	2.2		500								1690
94	0.87													1740
94.5	0.87													1820
94.5	0.87					560								1910
94.5	0.87					630								2120
94	0.82	1.4	6.5	2.0		500								1820
94.5	0.82													1900
94.5	0.82					560								2100
94.5	0.82					630								2180
94	0.78	1.4	6	2.0		500								1690
94	0.78													1820
94	0.78					560								1919
94	0.78					630								2120
91.5	0.76	1.0	5.5	2.0		500								1700
92	0.76													1800

附录 3 YB_2 系列低压隔爆

机座号	功率/kW-极数	铁芯尺寸/mm			线规/mm	匝数	节距	接法
		外径	内径	铁芯长				
801	0.75-2	120	67	60	1-0.6	109	1～9 2～10 11～18	1Y
802	1.1-2			75	1-0.67	87		
801	0.55-4		75	60	1-0.53	129	1～6	
802	0.75-4			70	1-0.6	110		
801	0.37-6		78	65	1-0.45	127	1～6	
802	0.55-6			85	1-0.53	98		
801	0.18-8		78	75	1-0.4	174	1～5	
802	0.25-8			90	1-0.45	140		
90S	1.5-2	130	72	80	1-0.8	76	1～9 2～10 11～18	1Y
90L	2.2-2			105	1-0.9	58		
90S	1.1-4		80	80	1-0.67	85	1～6	
90L	1.5-4			110	1-0.8	63		
90S	0.75-6		86	85	1-0.67	85	1～6	
90L	1.1-6			115	1-0.8	63		
90S	0.37-8		86	90	1-0.56	120	1～5	
90L	0.55-8			115	1-0.63	90		
100L	3-2	155	84	90	1-1.06	44	1～12 2～11	1Y
$100L_1$	2.2-4		98	95	2-0.67	42	1～9 2～10 11～18	
$100L_2$	3-4			125	1-1.12	33		
100L	1.5-6		106	90	1-0.85	58	1～6	
$100L_1$	0.75-8		106	70	1-0.71	89	1～6	
$100L_2$	1.1-8			90	1-0.85	67		
112M	4-2	175	98	90	2-0.67	53	见注 1	1△
112M	4-4		110	120	1-0.67 1-0.71	51	1～9 2～10 11～18	
112M	2.2-6		120	95	1-1.0	50	1～6	1Y
112M	1.5-8		120	95	1-0.9	53	1～6	
$132S_1$	5.5-2	210	116	95	1-0.9 1-0.95	43	见注 1	1△
$132S_2$	7.5-2			110	2-1.0	36		
$132S_1$	5.5-4		136	110	1-0.85 1-0.9	46	1～9 2～10 11～18	
$132S_2$	7.5-4			145	2-1.0	36		
132S	3-6		148	90	1-0.8 1-0.85	44	1～6	1Y
$132M_1$	4-6			115	1-1.0	60		1△
$132M_2$	5.5-6			155	1-0.8 1-0.85	45		
132S	2.2-8		148	90	1-1.06	44	1～6	1Y
132M	3-8			120	1-1.25	33		

型电机技术数据

槽配合	气隙/mm	技术指标					轴承	
		η/%	$\cos\varphi$	T_{st}/T_N	I_{st}/I_N	T_m/T_N	轴伸端	非轴伸端
18/16	0.3	75	0.83	2.6	6	2.3	6204-2RZ	6204-2RZ
		78	0.84					
24/22	0.25	71	0.75	2.4	5	2.3		
		73	0.77					
36/28	0.25	63	0.70	1.9	4	2.1		
		63	0.72					
36/28	0.25	52	0.61	1.8	3.3	1.9		
		55	0.61					
18/16	0.3	79	0.84	2.2	7	2.3	6205-2RZ	6205-2RZ
		81	0.85					
24/22	0.25	75	0.77	2.3	6	2.3		
		78	0.79					
36/28	0.25	69	0.72	2.1	4	2.1		
		73	0.73					
36/28	0.25	63	0.62	1.8	4	2.0		
		64	0.63					
24/20	0.4	83	0.88	2.2	7	2.3	6206-2RZ	6206-2RZ
36/28	0.30	80	0.81	2.3	6	2.4		
		82	0.82					
36/28	0.25	76	0.76	2.1	5	2.1		
48/44	0.25	71	0.68	1.8	4	2.0		
		73	0.69					
30/26	0.45	85	0.88	2.2	7	2.3	6206-2RZ	6206-2RZ
36/28	0.35	84	0.82	2.3	6	2.4		
36/28	0.30	79	0.76	2.1	5	2.1		
48/44	0.30	75	0.69	1.8	4	2.0		
30/26	0.55	86	0.88	2.2	7.5	2.3	6208-2RZ	6208-2RZ
		87	0.88					
36/28	0.40	86	0.84	2.3	7	2.4		
		87	0.85					
36/42	0.35	81	0.77	2.1	6	2.4		
		83	0.78					
		85	0.78					
48/44	0.35	79	0.73	1.8	5.5	2.2		
		81	0.73					

机座号	功率/kW-极数	铁芯尺寸/mm			线规/mm	匝数	节距	接法
		外径	内径	铁芯长				
160M_1	11-2	260	150	110	2-1.25	27	见注1	1△
160M_2	15-2			140	3-1.12	22		
160L	18.5-2			165	2-1.18 1-1.25	19		
160M	11-4		170	135	1-1.0 2-1.06	29	1～9 2～10 11～18	
160L	15-4			180	3-1.18	22		
160M	7.5-6		180	120	1-1.06 1-1.12	42	1～6	
160L	11-6			170	1-1.25 1-1.3	31		
160M_1	4-8		180	85	2-0.8	58	1～6	
160M_2	5.5-8			120	1-0.9 1-0.95	43		
160L	7.5-8			170	2-1.06	32		
180M	22-2	290	165	165	2-1.25	34	1～14	2△
180M	18.5-4		187	170	1-1.06 1-1.12	34	1～11	
180L	22-4			190	2-1.18	30		
180L	15-6		205	170	1-0.95 1-1.0	38	1～9	
180L	11-8		205	165	1-1.3	28	1～6	
200L_1	30-2	327	187	165	1-1.18 2-1.25	30	1～14	2△
200L_2	37-2			195	2-1.3 1-1.4	26		
200L	30-4		210	195	1-1.12 2-1.18	26	1～11	
200L_1	18.5-6		230	160	2-1.12	36	1～9	
200L_2	22-6			175	2-1.18	32		
200L	15-8		230	180	2-0.95	23	1～6	

续表

槽配合	气隙/mm	技术指标					轴承	
		η/%	$\cos\varphi$	T_{st}/T_N	I_{st}/I_N	T_m/T_N	轴伸端	非轴伸端
30/26	0.65	88	0.88	2.2	7.5	2.4	6209-2RZ	6209-2RZ
		89	0.89					
		89	0.89					
36/28	0.5	88	0.85	2.2	7	2.4	6309-2RZ	6209-2RZ
		89	0.85					
36/42	0.4	86	0.79	2.1	6.5	2.4		
		87	0.79					
48/44	0.4	81	0.73	1.9	6	2.2		
		83	0.75					
		85	0.76					
36/28	0.8	90.5	0.90	2.0	7.5	2.3	6211/V2	6211/V2
48/38	0.6	90.5	0.85	2.2	7	2.3	6311/V2	6211/V2
		91.2	0.85					
54/44	0.45	89	0.81	2.1	7	2.1		
48/44	0.45	87	0.76	1.9	6	2.2		
36/28	1.0	91	0.90	2.0	7.5	2.4	6212/V2	6212/V2
		92	0.90					
48/38	0.7	92	0.86	2.2	7.2	2.4	6312/V2	6212/V2
54/44	0.5	90	0.83	2.2	7	2.4		
		90	0.83					
48/44	0.5	89	0.76	2.0	6.5	2.2		

机座号	功率/kW-极数	铁芯尺寸/mm			线规/mm	匝数	节距	接法
		外径	内径	铁芯长				
225M	45-2	368	210	180	1-1.3 3-1.4	22	1～15	2△
225S	37-4		245	180	1-1.12 1-1.18	48	1～12	4△
225M	45-4			205	2-1.25	42		
225M	30-6		260	180	2-1.18 1-1.25	22	1～12	2△
255M_1	18.5-8		260	160	1-1.12 1-1.18	32	1～9	
255M_2	22-8			180	1-1.18 1-1.25	28		
250M	55-2	400	225	185	1-1.4 3-1.5	20	1～14	2△
250M	55-4		260	205	2-1.12 1-1.18	38	1～12	4△
250M	37-6		285	190	1-1.0 2-1.12	30	1～12	3△
250M	30-8		285	200	2-1.18 1-1.25	24	1～9	2△
280S	75-2	445	255	185	6-1.3 1-1.4	16	1～16	2△
280L	90-2			215	6-1.3 2-1.4	14		
280S	75-4		300	215	2-1.3 1-1.4	26	1～15	4△
280L	90-4			270	2-1.4 1-1.5	22		
280S	45-6		325	180	3-1.25	28	1～12	3△
280L	55-6			215	2-1.3 1-1.4	24		
280S	37-8		325	190	2-1.18	46	1～9	4△
280L	45-8			235	2-1.3	38		

注：1. 1～6，2～15，3～14，1～14，2～13。

2. 机座号≤160，定子绕组为单层；
   机座号≥180，定子绕组为双层。

3. 安装尺寸与相同机座号的 YB 系列电机相同。

4. YB_2 315、355 机座号的技术数据与 YB 315、355 基本相同。

续表

槽配合	气隙 /mm	技术指标					轴承	
		$\eta/\%$	$\cos\varphi$	T_{st}/T_N	I_{st}/I_N	T_m/T_N	轴伸端	非轴伸端
36/28	1.1	92.5	0.90	2.0	7.5	2.3	6312/V2	6312/V2
48/38	0.8	92.5	0.87	2.2	7.2	2.4	6313/V2	6312/V2
		92.8	0.87					
72/58	0.55	92	0.86	2.1	7	2.4		
72/58	0.55	90	0.78	2.0	6.5	2.2		
		90.5	0.78					
36/28	1.2	92.5	0.90	2.1	7.5	2.3	6313/V2	6313/V2
48/38	0.9	93	0.87	2.2	7.2	2.4	6314/V2	6313/V2
72/58	0.6	92	0.86	2.1	7.2	2.4		
72/58	0.6	91	0.79	1.9	6.5	2.0		
42/34	1.3	93	0.91	2.0	7.5	2.3	6314/V2	6314/V2
		93.8	0.91					
60/50	1.0	93.8	0.87	2.2	7.2	2.4	6317/V2	6314/V2
		94.2	0.87					
72/58	0.7	92.5	0.86	2.1	7	2.4		
		92.8	0.86					
72/58	0.7	91.5	0.79	1.8	6	2.0		
		92	0.79					

附录 4　YA 系列低压增安型（eⅡT3）

机座号	功率/kW-极数	铁芯尺寸/mm			线规/mm	匝数	节距	接法	槽配合	气隙/mm
		外径	内径	铁芯长						
$160M_2$	11-2	260	150	155	3-1.25	26	1～16 2～15 1～14 3～14 2～13	1△	30/26	0.65
160L	15-2			195	2-1.18 2-1.25	21				
160M	11-4		170	155	2-1.3	29	1～9 2～10 11～18		36/26	0.5
160L	15-4			195	3-1.18	23				
160M	7.5-6		180	145	2-1.12	38	1～6		36/33	0.45
160L	11-6			195	4-0.95	28				
$160M_1$	4-8		180	110	1-1.25	49			48/44	0.45
$160M_2$	5.5-8			145	2-1.0	39				
160L	7.5-8			195	1-1.12 1-1.18	29				
180M	18.5-2	290	160	185	1-1.33 1-1.38	36	1～14	2△	36/28	0.8
180L	18.5-4		180	220	1-1.33 1-1.26	32	1～11		48/44	0.55
180L	15-6		205	200	1-1.58	34	1～9		54/44	0.50
180L	11-8		205	200	2-0.9	23	1～7		54/58	0.50
$200L_1$	22-2	327	182	180	1-1.33 1-1.26	34	1～14	2△	36/28	1.0
$200L_2$	30-2			210	2-1.2 2-1.26	28				
200L	22-4		210	230	1-1.58 1-1.48	28	1～11		48/44	0.65
$200L_1$	18.5-6		230	195	1-1.26 1-1.2	32	1～9		54/44	0.5
$200L_2$	22-6			230	2-1.33	28				
200L	15-8		230	190	1-1.58	40	1～7		54/50	0.5
225M	37-2	368	210	210	4-1.3	13	1～14	2△	36/28	1.1
225S	30-4		245	200	2-1.18	25	1～12	4△	48/44	0.7
225M	37-4			235	2-1.3 2-1.25	11		2△		
225M	30-6		260	200	2-1.3 1-1.4	14	1～9	2△	54/44	0.55
225S	18.5-8		260	165	2-1.4	20	1～7		54/50	0.55
225M	22-8			200	2-1.5	17				

电机技术数据

<table>
<tr><th colspan="5">技术指标</th><th colspan="2">轴　　承</th><th rowspan="2">电机质量/kg</th></tr>
<tr><th>η/%</th><th>$\cos\varphi$</th><th>T_{st}/T_N</th><th>I_{st}/I_N</th><th>T_m/T_N</th><th>轴伸端</th><th>非轴伸端</th></tr>
<tr><td>87. 5</td><td>0. 90</td><td rowspan="2">1. 8</td><td rowspan="2">7</td><td rowspan="2">2. 2</td><td rowspan="2">6309Z_1</td><td rowspan="2">6309Z_1</td><td>150</td></tr>
<tr><td>88. 5</td><td>0. 90</td><td>170</td></tr>
<tr><td>88</td><td>0. 84</td><td rowspan="2">1. 9</td><td rowspan="2">7</td><td rowspan="2">2. 2</td><td rowspan="7">N309Z_1</td><td rowspan="7">6309Z_1</td><td>145</td></tr>
<tr><td>88. 5</td><td>0. 85</td><td>160</td></tr>
<tr><td>87</td><td>0. 77</td><td rowspan="2">2. 0</td><td rowspan="2">6. 5</td><td rowspan="2">2. 0</td><td>140</td></tr>
<tr><td>89. 5</td><td>0. 81</td><td>160</td></tr>
<tr><td>84</td><td>0. 72</td><td rowspan="3">2. 0</td><td rowspan="2">6</td><td rowspan="3">2. 0</td><td>120</td></tr>
<tr><td>85</td><td>0. 74</td><td>140</td></tr>
<tr><td>86</td><td>0. 75</td><td>5. 5</td><td>160</td></tr>
<tr><td>88. 5</td><td>0. 91</td><td>1. 5</td><td>7</td><td>2. 2</td><td>6310Z_1</td><td>6310Z_1</td><td>215</td></tr>
<tr><td>90. 5</td><td>0. 87</td><td>1. 9</td><td>7</td><td>2. 2</td><td rowspan="3">N310Z_1</td><td rowspan="3">6310Z_1</td><td>230</td></tr>
<tr><td>89. 5</td><td>0. 81</td><td>1. 8</td><td>6. 5</td><td>2. 0</td><td>260</td></tr>
<tr><td>86. 5</td><td>0. 76</td><td>1. 7</td><td>6</td><td>2. 0</td><td>255</td></tr>
<tr><td>88. 5</td><td>0. 91</td><td rowspan="2">1. 5</td><td rowspan="2">7</td><td rowspan="2">2. 2</td><td rowspan="2">6312Z_1</td><td rowspan="2">6312Z_1</td><td>260</td></tr>
<tr><td>89. 5</td><td>0. 91</td><td>290</td></tr>
<tr><td>92</td><td>0. 86</td><td>1. 9</td><td>7</td><td>2. 2</td><td rowspan="4">N312Z_1</td><td rowspan="4">6312Z_1</td><td>300</td></tr>
<tr><td>89. 8</td><td>0. 83</td><td rowspan="2">1. 8</td><td rowspan="2">6. 5</td><td rowspan="2">2. 0</td><td>265</td></tr>
<tr><td>90. 2</td><td>0. 83</td><td>285</td></tr>
<tr><td>88</td><td>0. 76</td><td>1. 8</td><td>6</td><td>2</td><td>265</td></tr>
<tr><td>90. 5</td><td>0. 91</td><td>1. 5</td><td>7</td><td>2. 2</td><td>6313Z_1</td><td>6313Z_1</td><td>420</td></tr>
<tr><td>91. 2</td><td>0. 87</td><td>1. 9</td><td rowspan="2">7</td><td rowspan="2">2. 2</td><td rowspan="5">N313Z_1</td><td rowspan="5">6313Z_1</td><td>390</td></tr>
<tr><td>91. 5</td><td>0. 88</td><td>1. 8</td><td>440</td></tr>
<tr><td>90. 2</td><td>0. 84</td><td>1. 7</td><td>6. 5</td><td>2. 0</td><td>405</td></tr>
<tr><td>89. 5</td><td>0. 76</td><td>1. 7</td><td rowspan="2">6</td><td rowspan="2">2. 0</td><td>350</td></tr>
<tr><td>90</td><td>0. 78</td><td>1. 8</td><td>400</td></tr>
</table>

机座号	功率/kW-极数	铁芯尺寸/mm			线规/mm	匝数	节距	接法	槽配合	气隙/mm
		外径	内径	铁芯长						
250M	45-2	400	225	195	5-1.4	12	1～14	2△	36/28	1.2
250M	45-4		260	240	2-1.4	21	1～12	4△	48/44	0.8
250M	37-6		285	225	1-1.12 2-1.18	14	1～12	3△	72/58	0.6
250M	30-8		285	240	1-1.12 1-1.18	21	1～9	4△	72/58	0.6
315S	90-2	520	300	290	12-1.5	6	1～18	2△	48/40	1.8
315M	110-2			340	14-1.5	5				
315L	132-2			380	16-1.5	4.5				
315S	90-4		350	290	2-1.5 3-1.4	10	1～16	4△	72/64	1.2
315M	110-4			380	4-1.4 2-1.5	8.5				
315L	132-4			420	2-1.5 5-1.4	7.5				
$355S_1$	160-2	590	327	300	23-1.5	4.5	1～18	2△	48/40	2.2
$355S_2$	185-2			340	26-1.5	4				
$355M_1$	200-2			400	29-1.5	3.5				
$355M_2$	220-2			440	29-1.5	3.5				
355L	250-2			500	35-1.5	3				
$355S_1$	160-4		380	340	10-1.5	7.5	1～16	4△	72/64	1.5
$355S_2$	185-4			420	12-1.5	6.5				
$355M_1$	200-4			450	13-1.5	6				
$355M_2$	220-4			520	14-1.5	5.5				
355L	250-4			590	15-1.5	5				

注：1. 机座号≤132 的 YA 电机的技术数据分别与同机座号的 YB 相同，见附录 2。

2. 防爆等级为 eⅡT2 时，仅 YA355，2 极电机比同机座号 YB 电机降低一级功

3. 同机座号的 YA 与 YB 安装尺寸相同，故附录 4 不再将其列入。

续表

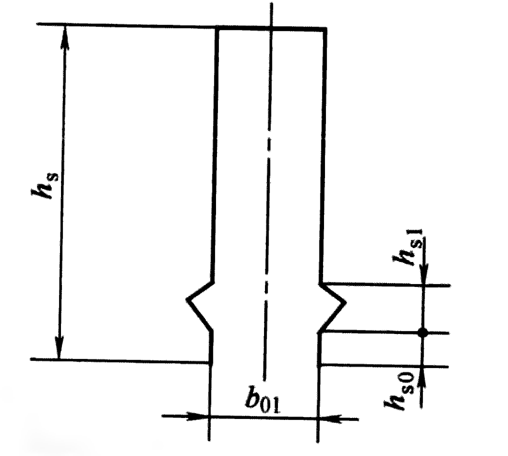
技术指标					轴承		电机质量/kg
η/%	$\cos\varphi$	T_{st}/T_N	I_{st}/I_N	T_m/T_N	轴伸端	非轴伸端	
90.5	0.91	1.5	7	2.2	$6314Z_1$	$6314Z_1$	505
92	0.88	1.7	7	2.2	$N314Z_1$	$6314Z_1$	510
90.8	0.86	1.8	6.5	2.0			505
90.5	0.80	1.8	6	2.0			470
93.5	0.89	1.6	7	2.2	$316Z_1$	$316Z_1$	1052
94	0.89						1153
94.5	0.89						1242
93	0.89	1.6	6.8	2.2	$N319Z_1$	$6319Z_1$	921
93.5	0.89						1075
94.5	0.89						1148
95	0.90	1.4	7	2.4	$N317Z_1$	$6317Z_1$	1497
95	0.90						1582
95.5	0.90						1592
95.5	0.90						1690
95.5	0.90						1949
94.5	0.89	1.4	7	2.2	$N320Z_1$	$6320Z_1$	1730
95	0.89						1820
95	0.89						1890
95.5	0.89						2090
95.5	0.89						2180

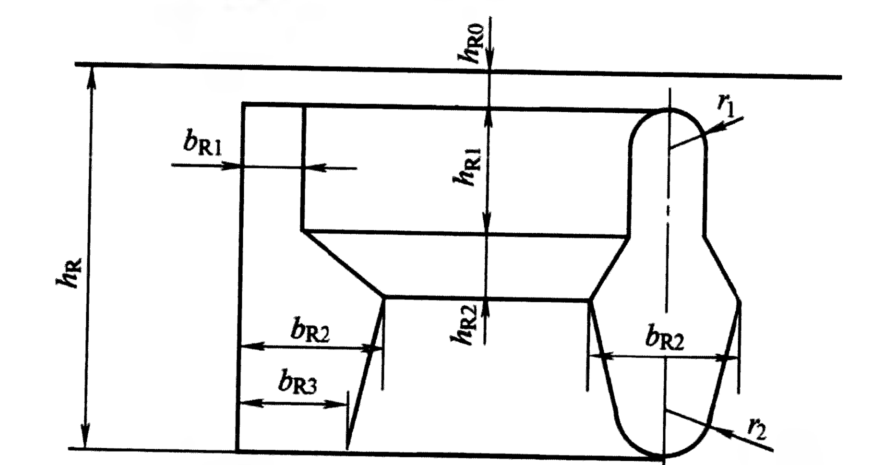
率（如 YB355L 为 315kW，YA355L 则为 280kW），其余均与相应机座号的 YB 相同。

附录5 YA2系列低压增安型（eⅡT3）电机技术数据

极数 功率/kW 机座号	2	4	6	8	选用的轴承
80	0.75	0.55	0.37		6204-2RZ×2
	1.1	0.75	0.55		
90S	1.3	1	0.65		6205-2RZ×2
90L	1.85	1.35	0.95		
100L	2.5	2	1.8		6206-2RZ×2
		2.5			
112M	3.3	3.6	1.9		
132S	4.6	5	2.6	1.9	6208-2RZ×2
	5.5				
132M		6.8	3.5	2.6	
		4.8			
160M	7.5	10	6.6	3.5	2p:6209-2RZ×2 (4～8)p:6309-2RZ,6209-2RZ
	10			4.8	
160L	12.5	13.5	9.7	6.6	
180M	15	15			2p:6211/V2×2 (4～8)p:6311/V2,6211/V2
180L		17.5	13.2	9.7	
200L	20		16.5	13.2	2p:6212/V2×2 (4～8)p:6312/V2,6212/V2
	24	24	20		
225S		30		16.5	2p:6312/V2×2 (4～8)p:6313/V2,6312/V2
225M	28	36	27	20	
250M	36	44	33	27	2p: 6313/V2 × 2; 4 ～ 8p: 6314/V2,6313/V2
280S	47	58	40	33	2p:6314/V2×2 (4～8)p:6317/V2,6314/V2
280M	58	70	46	40	
315S	68	84	64	50	2p:6316/V2×2 (4～8)p:6319/V2×2
315M	80	100	76	68	
315L	100	115	92	80	
	125	135	110	95	
			125	110	
355M	150	170	160	132	2p:6319/V2×2 (4～8)p:6322/V2×2
	190	215	200	165	
355L	220	240			
	250	275	250	205	
	300	350	315	260	

附录 6　JB 系列高压隔爆型电机技术数据





机座号	功率/kW-极数	铁芯尺寸/mm			定子绕组			气隙/mm	定子槽尺寸/mm				转子槽尺寸/mm								
		外径	内径	铁芯长	线规	匝数	节距		b_{01}	h_{s0}	h_{s1}	h_s	r_1	b_{R1}	b_{R2}	b_{R3}	r_2	h_{R0}	h_{R1}	h_{R2}	h_R
560S	200-2	650	350	340+5×10	1×6.3	18	1～14	2.3	1.29	0.7	4	70.5		4	12	10		0.6	13	10	38.6
560S	220-2			340+5×10	1×6.3	18															
560M	250-2			380+5×10	1.16×6.4	16															
560M	280-2			440+6×10	1.35×6.4	14															
560S	200-4		400	420	1.25×5.6	15	1～14	1.2	12	6	2	75	2.5		12		3	0.5	15	2	58.5
560S	220-4			420	1.25×5.6	15															
560M	250-4			460	1.4×5.6	14															
560M	280-4			500	1.6×5.6	13															

续表

机座号	功率/kW-极数	铁芯尺寸/mm			定子绕组			气隙/mm	定子槽尺寸/mm				转子槽尺寸/mm								
		外径	内径	铁芯长	线规	匝数	节距		b_{01}	h_{s0}	h_{s1}	h_s	r_1	b_{R1}	b_{R2}	b_{R3}	r_2	h_{R0}	h_{R1}	h_{R2}	h_R
630S	315-2	740	380	340+6×10	1.25×6.9	13	1～17	2.5	13.4	0.5	4	66	3		13		5	0.7	15	2	45.7
630S	355-2			370+6×10	1.45×6.9	12															
630M	400-2			405+6×10	1.6×7.1	11															
630M	450-2			460+6×10	1.9×7.1	10															
630S	315-4		475	490	2×6.3	11	1～14	1.4	12.8	4	3	75	3		12		3	0.6	15	2	58.6
630S	355-4			420+6×10	1.8×8	13			14.2	3	3	80	3		14		4	0.6	15	2	65.6
630M	400-4			480+6×10	2.24×8	11															
630M	450-4			540+6×10	2.5×8	10															
710S	500-2	850	460	370+6×10	1.95×8	11	1～17	3.5	15	0.5	5	74	2.5		17		4.5	0.6	15	2	67.6
710S	560-2			450+6×10	2.1×8	10															
710M	630-2			450+6×10	2.44×8	9															
710M	710-2			520+6×10	2.83×8	8															
710S	500-4		540				1～14	1.5	14.2	1	3.5	76.5	2.2		14		4	0.6	15	2	66.6
710S	560-4			440+8×10	2.65×8	9															
710M	630-4																				
710M	710-4																				

续表

机座号	功率/kW-极数	技术指标					安装尺寸/mm										轴承	电机质量/kg
		η/%	$\cos\varphi$	T_{st}/T_N	I_{st}/I_N	T_m/T_N	A	B	C	D	E	F	G	H	K			
560S	200-2	93	0.86	1.0	7	2.0	900	1000	280	75	140	20	67.5	560	35		$220Z_1$ $2220Z_1$	2600
560S	220-2																	2600
560M	250-2							1120										2700
560M	280-2																	2800
560S	200-4	93	0.86	1.2	6.5	2.1	900	1000	280	90	170	25	81	560	35		$320Z_1$ $2320Z_1$	2600
560S	220-4																	2600
560M	250-4							1120										2700
560M	280-4																	2800
630S	315-2	93	0.86	1.0	6.5	2.0	1000	1120	280	85	170	22	76	630	42		4DM $222Z_1\times 2$	3800
630S	355-2																	3900
630M	400-2							1250										4200
630M	450-2																	4300

续表

机座号	功率/kW-极数	技术指标					安装尺寸/mm										轴承	电机质量/kg
		η/%	$\cos\varphi$	T_{st}/T_N	I_{st}/I_N	T_m/T_N	A	B	C	D	E	F	G	H	K			
630S	315-4	93	0.86	1.2	6	1.8	1000	1120	280	100	210	28	90	630	42		MD $224Z_1$	3800
630S	355-4																	3900
630M	400-4							1250									MD $2224Z_1$	4200
630M	450-4																	4300
710S	500-2	93	0.86	1.0	6.5	2.0	1120	1250	280	90	170	25	81	710	42		3E $222Z_1\times2$	5200
710S	560-2																	5400
710M	630-2							1400										5500
710M	710-2																	5600
710S	500-4	93	0.86	1.2	6	1.8	1120	1250	280	110	210	28	100	710	42		MD $228Z_1$	5200
710S	560-4																	5400
710M	630-4							1400									MD $2228Z_1$	5500
710M	710-4			1.0														5600

注：1. 2极槽配合为48/40，4极为60/50。

2. 定子绕组接法为1Y。

3. JBO（南阳防爆电机厂）与JB（佳木斯电机厂）的型谱、安装尺寸相同。

附录 7 YA、YB 系列高压隔爆型电机技术数据

机座号	功率/kW-极数	铁芯尺寸/mm			定子绕组			气隙/mm	定子槽尺寸/mm				转子槽尺寸/mm						
		外径	内径	铁芯长	线规/mm	匝数	节距		b_{01}	h_{s0}	h_{s1}	h_s	r_1	b_{R2}	r_2	h_{R0}	h_{R1}	h_{R2}	h_R
$400S_1$	200-2	650	350	400	1.12×7.1	17	1～14	2.3	13.2	6	3	78	2	12	4	0.9	15	5	50.9
$400S_2$	220-2			400	1.12×7.1	17													
$400M_1$	250-2			460	1.32×7.1	15													
$400M_2$	280-2			500	1.5×7.1	14													
$400S_1$	200-4		400	420	1.25×5.6	15	1～14	1.2	12	6	2	75	2.5	12	3	0.5	15	2	58.5
$400S_2$	220-4			420	1.25×5.6	15													
$400M_1$	250-4			460	1.4×5.6	14													
$400M_2$	280-4			500	1.6×5.6	13													
400S	185-6		480	600	1.0×5.6	14	1～11	1.0	12.3	1.5	2	56.3	2.3	10	6 (b_{R3})	0.5	14.4	0	54.9
$400M_1$	200-6			640	1.06×5.6	13													
$400M_2$	220-6			680	1.18×5.6	12													
$400M_1$	160-8		480	640	1.0×5.0	15	1～9	1.0	10.4	1.5	2	57.5	3	10	3	0.5	15	2	48.5
$400M_2$	185-8				1.12×5.0	14													

续表

机座号	功率/kW-极数	铁芯尺寸/mm			定子绕组			气隙/mm	定子槽尺寸/mm				转子槽尺寸/mm						
		外径	内径	铁芯长	线规/mm	匝数	节距		b_{01}	h_{s0}	h_{s1}	h_s	r_1	b_{R2}	r_2	h_{R0}	h_{R1}	h_{R2}	h_R
450S₁	315-2			420	1.8×7.1	13													
450S₂	355-2			450	2.0×7.1	12													
450S₃	400-2		380	500	2.24×7.1	11	1～17	2.7	13.4	6	3	83	2.5	14.6	4.5	1.0	15	1	51
450M₁	450-2			560	2.5×7.1	10													
450M₂	500-2			640	2.8×7.1	9													
450S₁	315-4			450	2.0×7.1	12													
450S₂	355-4			500	2.24×7.1	11													
450S₃	400-4		475	560	2.5×7.1	10	1～14	1.4	13.2	3	3	80	2.8	14	4	1.0	15	0	59
450M₁	450-4			620	2.8×7.1	9													
450M₂	500-4	740		680	3.15×7.1	8													
450S₁	250-6								12.3	1.5	2.5	64.5	2	10	4 (b_{R3})	0.5	14.4	0	54.9
450S₂	280-6			580	1.5×5.6	12													
450S₃	315-6		540	620	1.7×6.3	11	1～11	1.2											
450M₁	355-6								12.7	2	2.5	65	2	10	3.5 (b_{R3})	0.5	14.5	0	58.9
450M₂	400-6																		
450S₁	200-8																		
450S₂	220-8		540	580	1.32×6.3	13	1～9	1.1	12.7	2	2.5	65	2	10	3.5 (b_{R3})	0.5	14.5	0	58.9
450S₃	250-8			620	1.5×6.3	12													
450M	280-8																		

续表

机座号	功率/kW-极数	技术指标					安装尺寸/mm										轴承	电机质量/kg
		η/%	$\cos\varphi$	T_{st}/T_N	I_{st}/I_N	T_m/T_N	A	B	C	D	E	F	G	H	K		
400S_1	200-2	93	0.86	1.0	7	2.0	686	900	280	75	140	20	67.5	400	35	220Z_1 2220Z_1	2100
400S_2	220-2																2100
400M_1	250-2							1000									2450
400M_2	280-2																2510
400S_1	200-4			1.2	6.5	2.1		900		90	170	25	81			320Z_1 2320Z_1	2100
400S_2	220-4																2100
400M_1	250-4							1000									2450
400M_2	280-4																2510
400S	185-6	92.5	0.84	1.2	6.5	2.0		900									
400M_1	200-6							1000									
400M_2	220-6																
400M_1	160-8	92.5	0.83	1.1	6	1.8		1000									
400M_2	185-8																

续表

机座号	功率/kW-极数	技术指标					安装尺寸/mm									轴承	电机质量/kg
		η/%	$\cos\varphi$	T_{st}/T_N	I_{st}/I_N	T_m/T_N	A	B	C	D	E	F	G	H	K		
$450S_1$	315-2	94	0.87	1.0	7	2.0	750	900	315	85	170	22	76	450	35	3EM $222Z_1$×2	2750
$450S_2$	355-2																2850
$450S_3$	400-2																3000
$450M_1$	450-2							1000									3250
$450M_2$	500-2																3350
$450S_1$	315-4			1.2	6.5	1.8		900		100	210	28	90			MD $322Z_1$ MD $2322Z_1$	2750
$450S_2$	355-4																2850
$450S_3$	400-4																3000
$450M_1$	450-4							1000									3250
$450M_2$	500-4																3350
$450S_1$	250-6	92.5	92.5	1.2	6	1.8		900									
$450S_2$	280-6																
$450S_3$	315-6																
$450M_1$	355-6							1000									
$450M_2$	400-6																
$450S_1$	200-8	92.5	92.5	1.1	6	1.8		900									
$450S_2$	220-8																
$450S_3$	250-8																
450M	280-8							1000									

注：1. 2 极槽配合为 48/40，4 极为 60/50，YB400$^{-6}_{-8}$极为 72/58，450$^{-6}_{-8}$极为 72/86。

2. 定子绕组接法为 1Y。

附录 8　JBR 低压绕线转子隔爆型电机技术数据

机座号	功率/kW-极数	铁芯尺寸/mm			定子绕组				转子绕组		定子槽尺寸/mm			
		外径	内径	铁芯长	线规/mm	匝数	节距	接法	线规/mm	节距	b_{01}	h_{s0}	h_{s1}	h_s
40	25-6	493	360	185	4-1.56	7	1～9	2Y	1-4.1×15.6（一侧倒角 *R*2.05）	起头 1～12 完头 1～11	R6, 9, 34, 4, 1, 1			
41	32-6			230	5-1.56	6								
42	40-6			285	2-1.56	15		6Y						
40	20-8			185	4-1.45	7	1～9	2Y	1-3.05×13.5（一侧倒角 *R*1.525）	起头 1～12 完头 1～11	R4.25, 5.9, 36, 4, 1, 1			
41	25-8			230	4-1.56	6								
42	32-8			285	5-1.56	5								
51	50-6	560	420	340	2.26×5.9	5	1～10	3Y	2-3.05×18	1～10 10～19	9.2	0.7	2.5	36.8
52	75-6			440	1.45×5.9	7		6Y						
51	40-8			340	2.63×6.4	4	1～9	2Y	4.4×15.6	起头 1～12 完头 1～11	9.7	0.7	2.5	34.2
52	50-8			440	3.8×6.4	3								

续表

机座号	功率/kW-极数	铁芯尺寸/mm			定子绕组				转子绕组		定子槽尺寸/mm			
		外径	内径	铁芯长	线规/mm	匝数	节距	接法	线规/mm	节距	b_{01}	h_{s0}	h_{s1}	h_s
61	125-6	650	480		2.1×6.9	6.5		6Y	2-3.28×19.5	起头 1~12 完头 1~11	10.3	2.7	2.5	46
62	160-6				2.26×6.9	5.5								
61	100-8				2.83×6.9	5		4Y	2-2.83×22	起头 1~8 完头 1~9	10.3	2.7	2.5	46
62	125-8				1.68×6.9	8		8Y						

机座号	功率/kW-极数	气隙	转子槽形	转子开路电压/V	技术指标			安装尺寸/mm									轴承	电机质量/kg
					η/%	$\cos\varphi$	T_m/T_N	A	B	C	D	E	F	G	H	K		
40	25-6	0.75	1.6, R3.6, 4.6, 42.3, R3.6	122	87.5	0.83	2.3	500	325	320	70	140	20	64	300	24	317 2317	700
41	32-6			141	87.5	0.84			375									800
42	40-6			168	88.5	0.84			420									900
40	20-8	0.7	1.6, R3.1, 3.3, 36.8, R3.1	122	86	0.78	2.1		325									700
41	25-8			141	86	0.78	2.3		375									800
42	32-8			168	89.5	0.78			420									900

续表

机座号	功率/kW-极数	气隙	转子槽形	转子开路电压/V	技术指标			安装尺寸/mm									轴承	电机质量/kg
					η/%	$\cos\varphi$	T_m/T_N	A	B	C	D	E	F	G	H	K		
51	50-6	0.8	1.6　0.5　46.2　10.6　3	365	90	0.86	2.3	550	480	330	80	170	24	73	335	26	319 2319	1150
52	75-6	0.75		510	90	0.86			560									1390
51	40-8		1.6　3.1　41　R3.75　R3.75	365	88	0.80	2.3		480									1150
52	50-8			510	90	0.82			560									1390
61	125-6	0.9	0.5　1.6　49　11.5　3	510	92.3	0.88	2.3	710	550	450	90	170	24	83	450	32	322 2322	3900
62	160-6			650	92.5	0.89			650									4200
61	100-8	0.9	1.6　0.5　53　10.5　3	510	92	0.83	2.3		550									3900
62	125-8			650	92.5	0.83			650									4200

注：1. 槽配合：机座 40-42，6 极为 54/63，8 极 72/84；51、52，6 极为 72/54，8 极 72/84；61、62，6 极为 72/63，8 极 72/60。

2. 转子匝数为 1，接法为 1Y。

3. 表中所列为 S_1（连续）时功率，若 $FC=60\%$，则分别可以提高一级功率。如 40 机座号 6 极，S_1 时功率为 25kW，$FC=60\%$时，则为 32kW，余类推。

附录 9 JBRO 系列低压绕线转子隔爆型电机技术数据

机座号	功率/kW-极数	铁芯尺寸/mm			定子绕组				转子绕组				定子槽形/mm						槽配合
		外径	内径	铁芯长	线规/mm	匝数	节距	接法	线规/mm	匝数	节距	接法	b_0	h_0	α	b_1	R	h_1	
250S	30-6	400	285	225	2-1.12 1-1.18	14	1～12	3△	2-1.4 1-1.3	12	1～9	3Y	3.8	1	35	6.2	4.1	29.9	72/54
250M	37-6			260	2-1.18 1-1.3	12			3-1.18 1-1.3	11									
250S	22-8			225	2-1.3 1-1.18	12	1～9	2△	4-1.3	10	1～6	2Y							72/48
250M	30-8			260	4-1.18	10			3-1.3 3-1.4	9									
280S	45-6	445	325	240	3-1.4	11	1～12	3△	5-1.4	9	1～9	3Y	3.8	1	35	7.2	4.6	27.8	72/54
280M	55-6			285	2-1.35	18		6△	3-1.4	16		6Y							
280S	37-8			240	2-1.3	19	1～9	4△	5-1.5	8	1～7	2Y							
280M	45-8			285	1-1.5 1-1.4	16			6-1.4	8									
315S	75-6	493	350	350	3-1.4	15	1～11	6△	5-1.45	10	1～9	6Y	3.5	1.5	30	7.7	5.2	33.2	72/54
315M	90-6			410	3-1.5	13			5-1.45	10									
315S	55-8			350	1-1.35 1-1.4	24	1～9	8△	6-1.5	6	1～8	4Y	3.5	1.5	30	7.6	5.25	35.5	72/60
315M	75-8			410	3-1.25	20			2-1.6 4-1.5	6									

续表

机座号	功率/kW-极数	铁芯尺寸/mm			定子绕组				转子绕组				定子槽形/mm						槽配合
		外径	内径	铁芯长	线规/mm	匝数	节距	接法	线规/mm	匝数	节距	接法	b_0	h_0	α	b_1	R	h_1	
355S	110-6	560	420	390	2-1.5 2-1.4	11	1～12	6△	3.55×20	1	1～14	1Y	3.5	1.5	30	10	6.1	27	72/81
355M	132-6			480	5-1.4	9.5			3.55×20	1	1～15								
355S	90-8			390	3-1.4 2-1.5	9	1～9	4△	3.15×20	1	1～11								72/84
355M	110-8			480	2-1.4 1-1.5	15		8△	3.15×20	1	1～12								
355S	75-10			390	2-1.5 1-1.6	12	1～9	5△	4×18	1	1～8		3.5	1.5	30	7.2	4.7	34.9	90/75
355M	90-10			480	2-1.4 2-1.5	10			4×18	1	1～9								

机座号	功率/kW-极数	铁芯尺寸/mm			定子绕组				转子绕组				定子槽形/mm				槽配合
		外径	内径	铁芯长	线规/mm	匝数	节距	接法	线规/mm	匝数	节距	接法	b_{01}	h_{s0}	h_{s1}	h_s	
400M	160-6	650	480	480	2.8×7.1	5	1～12	3△	4.5×18	1	1～16	1Y	11.3	1	3	45.1	72/90
400L	185-6			560	3.55×7.1	4			4.5×18	1							
400M	132-8			480	2.12×7.1	7	1～9	4△	3.55×18	1	1～13		11.3	1	3	49.5	72/96
400L	160-8			560	2.65×7.1	6			3.55×18	1							
400M	110-10		510	480	1.15×6.3	9	1～9	5△	4.5×18	1	1～8		10.5	1	3	41	90/75
400L	132-10			560	1.25×6.3	8			4.5×18	1	1～9						

续表

机座号	功率/kW-极数	铁芯尺寸/mm			定子绕组				转子绕组				定子槽形/mm				槽配合
		外径	内径	铁芯长	线规/mm	匝数	节距	接法	线规/mm	匝数	节距	接法	b_{01}	h_{s0}	h_{s1}	h_s	
450S	200-6	740	540	470	2.24×6.3	7	1～15	3△	4×20	1	1～19	1Y	10.9	2.5	3	52	90
450M	220-6			520	2.5×6.3	6			4×20	1							
450L	250-6			560	2.65×6.3	6			4×20	1							
450S	185-8		540	470	1.7×6.3	10	1～11	4△	4.5×20	1	1～13	1Y	10.9	2.5	3	57.5	84/96
450M	200-8			520	1.9×6.3	9			4.5×20	1							
450L	220-8			560	1.9×6.3	9			4.5×20	1							
450S	160-10		590	470	2.8×5.6	5	1～10	2△	4.5×20	1	1～11	1Y	10.3	1.0	3	45	90/105
450M	185-10			520	3.15×5.6	4.5			4.5×20	1							
450L	200-10			560	3.15×5.6	4.5			4.5×20	1							

机座号	功率/kW-极数	气隙	转子槽形/mm						转子开路电压/V	技术指标			安装尺寸/mm									轴承	GD^2/kg·m²
			b_0	h_0	α	b_1	R	h_2		η/%	$\cos\varphi$	T_m/T_N	A	B	C	D	E	F	G	H	K		
250S	30-6	0.6	3	0.5	30	8.2	1.75	45.35	399	88	0.83	2.6	406	311	168	60	148	18	53	250	24	314 2314	5
250M	37-6								450	88	0.83	3.5		349									6
250S	22-8								330	87	0.77	2.5		311									5
250M	30-8								380	87	0.77			349									6

续表

机座号	功率/kW-极数	气隙	转子槽形/mm						转子开路电压/V	技术指标			安装尺寸/mm									轴承	GD^2/kg·m²
			b_0	h_0	α	b_1	R	h_2		η/%	$\cos\varphi$	T_m/T_N	A	B	C	D	E	F	G	H	K		
280S	45-6	0.65	3.5	1	35	9.4	2.1	47.2	394	89	0.84	3.5	457	368	190	70	148	20	62.5	280	24	317 2317	10
280M	55-6								428	90	0.84			419									13.5
280S	37-8								398	88	0.77	2.8		368									10
280M	45-8								473	88	0.77	3.2		419									13.5
315S	75-6	0.7	3.5	1	30	10.7	2.6	49.4	335	91	0.87	2.8	508	406	216	85	170	22	76	315	28	319 2319	17.5
315M	90-6								390	91	0.86			457									25
315S	55-8		3.5	1	35	8.9	1.9	49.5	260	91	0.79	2.5		406									17.5
315M	75-8								318	91	0.78			457									25

机座号	功率/kW-极数	气隙	转子槽形/mm					转子开路电压/V	技术指标			安装尺寸/mm									轴承	GD^2/kg·m²
			b_0	h_0	α	b_1	h_2		η/%	$\cos\varphi$	T_m/T_N	A	B	C	D	E	F	G	H	K		
355S	110-6	0.8	1.5	0.6	30	6.4	49.2	390	92	0.87	3.5	610	500	254	90	170	25	81	355	28	320 2320	43
355M	132-6							452	92.5	0.87			560									50
355S	90-8		1.5	0.6	30	6	49.5	329	92	0.80	3.2		500									43
355M	110-8							395	92	0.81			560									50
355S	75-10		1.5	0.6	30	7.8	45.6	218	90	0.75	2.5		500									43
355M	90-10							260	90	0.76	2.4		560									50

续表

机座号	功率/kW-极数	气隙	转子槽形/mm					转子开路电压/V	技术指标			安装尺寸/mm									轴承	GD^2/kg·m²
			b_0	h_0	a	b_1	h_2		η/%	$\cos\varphi$	T_m/T_N	A	B	C	D	E	F	G	H	K		
400M	160-6	0.9	1.5	0.6	36	7.5	45.3	467	92.5	0.89	3.2	686	630	280	100	210	28	90	400	35	322 2322	95
400L	185-6							590	92.5	0.88	3.5		710									107
400M	132-8	0.9	1.5	0.6	36	6.7	44.9	474	92	0.79			630									95
400L	160-8							563	92.5	0.78			710									107
400M	110-10	0.8	1.5	0.6	30	7.3	44.9	326	90	0.76	2.6		630									95
400L	132-10							376	91	0.75			710									107
450S	200-6	1.0	1.5	0.6	36	7.1	49	590	92.5	0.89	3.5	800	630	315	110	210	28	100	450	35	324 2324	132
450M	220-6							600	92.5	0.89	3.3		710									150
450L	250-6							650	92.5	0.89			800									178
450S	185-8	1.0	1.5	0.6	36	7.6	49.3	500	92.5	0.82	3.0		630									132
450M	200-8							570	92.5	0.82			710									150
450L	220-8							580	92.5	0.82	3.2		800									178
450S	160-10	1.0	1.5	0.6	36	7.6	49.3	500	91	0.76	2.8		630									175
450M	185-10							590	91	0.77			710									200
450L	200-10							590	91	0.77			800									220

附录 10 国外防爆电动机的型谱和技术数据

附录 10 (a) 主要国家防爆电动机的型谱及主要技术数据（隔爆型低压）

技术指标	功率/kW								质量/kg								效率/%	
生产厂家	德国西门子		日本东芝		瑞士 ABB		俄罗斯顿涅斯克		德国西门子		日本东芝		瑞士 ABB		俄罗斯顿涅斯克		德国西门子	
系列	1MJ6 1MJ5 1MJ2		1KH		D. S/MEDS D. L/MEDL D. M/MEDM		B		1MJ6 1MJ5 1MJ2		1KH		D. S/MEDS D. L/MEDL D. M/MEDM		B		1MJ6 1MJ5 1MJ2	
机座号 \ 极数	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
80	0. 75	0. 55	0. 75	0. 75	0. 75	0. 55	1. 5	1. 1	21. 5	21	24	22 (25)	23	23	32. 4	32. 4	75	72
80	1. 1	0. 75	—	—	1. 1	0. 75	2. 2	1. 5	23. 5	22. 5			25	25	35	35	77	72
90S	—	—	—	—	1. 5	1. 1	—	—					28	28				
90L	1. 5 2. 2	1. 1 1. 5	1. 5 2. 2	1. 5	2. 2	1. 5	3	2. 2	30 32. 5	29. 5 32	37 37	33 35	36	36	63	63	77 82	73 76
100S	—	—	—	—	—	—	4	3							78	78		
100M	—	—	—	—	—	—	—	—										
100L	3	2. 2 3	—	2. 2	3	2. 2 3	5. 5	4	52	39 51		38 42	37	36 41	84	84	82	78 78

续表

技术指标	功率/kW								质量/kg								效率/%	
生产厂家	德国西门子		日本东芝		瑞士 ABB		俄罗斯顿涅斯克		德国西门子		日本东芝		瑞士 ABB		俄罗斯顿涅斯克		德国西门子	
系列	1MJ6 1MJ5 1MJ2		1KH		D. S/MEDS D. L/MEDL D. M/MEDM		B		1MJ6 1MJ5 1MJ2		1KH		D. S/MEDS D. L/MEDL D. M/MEDM		B		1MJ6 1MJ5 1MJ2	
机座号 \ 极数	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
112	4	4	3.7	3.7	4	4	7.5	5.5	55	56	48	49 51	59	60	106	106	85	84
132S	5.5 7.5	5.5	5.5 7.5	5.5	5.5 7.5	5.5	—	7.5	80 86	80	87 87	91 88	61 66	72		148	85 86	84
132M	—	7.5	—	7.5	—	7.5	11	11		89		103 100		86	156	156		85
160S	—	—	—	—	—	—	15	15							230	260		
160M	11 15	11	11 15	11	11 15	11	18.5	18.5	115 128	120	137 137	135 117	134 145	140	250	280	88 90	86
160L	18.5	15	—	15	18.5	15	—	—	162	154		152 145	150	150			91	88

续表

技术指标	功率/kW								质量/kg								效率/%	
生产厂家	德国西门子		日本东芝		瑞士 ABB		俄罗斯顿涅斯克		德国西门子		日本东芝		瑞士 ABB		俄罗斯顿涅斯克		德国西门子	
系列	1MJ6 1MJ5 1MJ2		1KH		D. S/MEDS D. L/MEDL D. M/MEDM		B		1MJ6 1MJ5 1MJ2		1KH		D. S/MEDS D. L/MEDL D. M/MEDM		B		1MJ6 1MJ5 1MJ2	
机座号 \ 极数	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
180S	—	—	—	—	—	—	22	22							280	320 (350)		
180M	22	18.5	—	18.5	22	18.5	30	30	175	175		210	210	190	350	390 (385)	91.7	90.5
180L	—	22	18.5 22	22	—	22	—	—		190	240 240	240		210				91.2
200M	—	—	—	—	—	—	37	37							435 420	455 440		
200L	30 37	30	30	30	30 37	30	45	45	250 270	260	330	330	275 290	290	480 463	500 483	92.3 92.8	91.8
225S	—	37	37	37	—	37	—	—		325	400	400		375				92.5

续表

技术指标	功率/kW								质量/kg								效率/%	
生产厂家	德国西门子		日本东芝		瑞士 ABB		俄罗斯顿涅斯克		德国西门子		日本东芝		瑞士 ABB		俄罗斯顿涅斯克		德国西门子	
系列	1MJ6 1MJ5 1MJ2		1KH		D. S/MEDS D. L/MEDL D. M/MEDM		B		1MJ6 1MJ5 1MJ2		1KH		D. S/MEDS D. L/MEDL D. M/MEDM		B		1MJ6 1MJ5 1MJ2	
机座号 \ 极数	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
225M	45	45	45	45	45	45	55	55	335	335	440	440	385	415	580 550	60 570	93.3	9
250S	—	—	—	—	—	—	75	75							730	750		
250M	55	55	55	55	55	55	90	90	445	465	540	540	510	510	740	815	93.6	93.8
280S	75	75	75	75	75	75	110	110	600	630	800	800	675	680	950	965	94.4	94.5
280M	90	90	90	90	90	90	—	—	640	680	900	900	745	760			94.8	94.7
280L	—	—	—	—	—	—	—	—										
315S	110	110	—	—	110	110	—	—	840	870			940	960			94.8	94.7
315M	132	132	—	—	132 160	132 160	—	—	900	950			1040 1300	1070 1230			94.9	95.3
315L	160	160	—	—	200	200	—	—	1120	1220			1300	1240			95.5	95.5

续表

技术指标	功率/kW								质量/kg								效率/%	
生产厂家	德国西门子		日本东芝		瑞士 ABB		俄罗斯顿涅斯克		德国西门子		日本东芝		瑞士 ABB		俄罗斯顿涅斯克		德国西门子	
系列	1MJ6 1MJ5 1MJ2		1KH		D. S/MEDS D. L/MEDL D. M/MEDM		B		1MJ6 1MJ5 1MJ2		1KH		D. S/MEDS D. L/MEDL D. M/MEDM		B		1MJ6 1MJ5 1MJ2	
机座号 \ 极数	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
355S	200	200	—	—	—	—	—	—	1500	1600							96	96
355M	250	250	—	—	—	—	—	—	1700	1850							96	96
355L	315	315	—	—	280 355	250 325	—	—	2050	2200			1860 2050	2000 2120			96.3	96.1
400S	355	355 400	—	—	—	—	—	—	2400	2500 2650							96.3	96.3 96.5
400M	400	450	—	—	—	—	—	—	2550	2850							96.5	96.7
400L	—	—	—	—	400 450	410 485 550	—	—					2230 2350	2450 2740 3110				
450S	—	500	—	—	—	—	—	—		3300								
450M	—	560	—	—	—	—	—	—		3500								
450L	—	—	—	—	—	—	—	—										

续表

技术指标	效率/%				cosφ				cosφ		噪声(升压级)/dB(A)					
生产厂家	瑞士 ABB		俄罗斯顿涅斯克		德国西门子		瑞士 ABB		俄罗斯顿涅斯克		德国西门子			瑞士 ABB		
系列	D. S/MEDS D. L/MEDL D. M/MEDM		B		1MJ6 1MJ5 1MJ2		D. S/MEDS D. L/MEDL D. M/MEDM		B		1MJ6 1MJ5 1MJ2			D. S/MEDS D. L/MEDL D. M/MEDM		
机座号 \ 极数	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	6	2	4	6
80	70	68	81	79	0.86	0.8	0.84	0.77	0.9	0.8	58	49	42	62	48	45
80	74	71	83	80	0.87	0.87	0.86	0.77	0.91	0.8	58	49	42	62	48	45
90S	76	76					0.89	0.81						66	48	50
90L	80	78	82.5	81	0.85 0.86	0.81 0.79	0.89	0.82	0.87	0.8	63	51	45	66	48	50
100S			84.5	81.5					0.87	0.8						
100M				84												
100L	81.5	79.3 80.5	85		0.85	0.8 0.82	0.92	0.83 0.83	0.88	0.82	65	54	50	67	53	55
112	83	82.5	88	86.5	0.88	0.8	0.89	0.83	0.88	0.83	66	55	55	71	60	56
132S	83.5 85	84		89	0.85 0.89	0.85	0.89 0.9	0.84		0.85	70	61	60	77	63	58

续表

技术指标	效率/%				cosφ				cosφ		噪声(升压级)/dB(A)					
生产厂家	瑞士 ABB		俄罗斯顿涅斯克		德国西门子		瑞士 ABB		俄罗斯顿涅斯克		德国西门子			瑞士 ABB		
系列	D. S/MEDS D. L/MEDL D. M/MEDM		B		1MJ6 1MJ5 1MJ2		D. S/MEDS D. L/MEDL D. M/MEDM		B		1MJ6 1MJ5 1MJ2			D. S/MEDS D. L/MEDL D. M/MEDM		
机座号 \ 极数	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	6	2	4	6
132M		85	88.5	89		0.87		0.85	0.87	0.84		61	60		63	58
160S			89.5	90					0.89	0.87	72	、65				
160M	88 89.5	88.5	90	90.5	0.84 0.85	0.86	0.88 0.89	0.86	0.9	0.85			63	75	67	61
160L	90	90			0.86	0.87	0.89	0.86			72	65	63	75	67	61
180S			90	91					0.89	0.86 0.87					65	
180M	92.4	90.8	91	91	0.89	0.84	0.9	0.87	0.9	0.88 0.87	72	62		79		
180L		91.3				0.85		0.87				62	58		65	62

续表

技术指标	效率/%				cosφ				cosφ		噪声(升压级)/dB(A)					
生产厂家	瑞士 ABB		俄罗斯顿涅斯克		德国西门子		瑞士 ABB		俄罗斯顿涅斯克		德国西门子			瑞士 ABB		
系列	D. S/MEDS D. L/MEDL D. M/MEDM		B		1MJ6 1MJ5 1MJ2		D. S/MEDS D. L/MEDL D. M/MEDM		B		1MJ6 1MJ5 1MJ2			D. S/MEDS D. L/MEDL D. M/MEDM		
机座号 \ 极数	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	6	2	4	6
200M			91.5	92.5					0.86	0.89 0.87						
200L	92.2 93	92	92.5	92.5	0.89 0.9	0.86	0.87 0.88	0.85	0.88	0.88 0.87	73	63	58	79	67	63
225S		92.4				0.86		0.85				65			70	
225M	93	93.1	92.5	93	0.9	0.87	0.88	0.85	0.89 0.86	0.89 0.85	74	65	61	79	70	67
250S			92	91.7					0.89	0.89						
250M	92.8	93.7	92	92	0.91	0.87	0.89	0.85	0.9	0.9	76	66	61	84	70	68
280S	93.6	94.3	93	93.5	0.9	0.86	0.9	0.86			78	68	61	85	72	71
280M	94.1	94.7			0.91	0.86	0.91	0.86			78	68	61	85	72	71
280L																
315S	94.2	94.4			0.9	0.86	0.89	0.87			80	70	64	85	80	73
315M	94.7 95.2	94.9 95.3			0.9	0.87	0.90 0.91	0.87 0.87			80	70	64	85	80	73

续表

技术指标	效率/%				cosφ				cosφ		噪声(升压级)/dB(A)					
生产厂家	瑞士 ABB		俄罗斯顿涅斯克		德国西门子		瑞士 ABB		俄罗斯顿涅斯克		德国西门子			瑞士 ABB		
系列	D. S/MEDS D. L/MEDL D. M/MEDM		B		1MJ6 1MJ5 1MJ2		D. S/MEDS D. L/MEDL D. M/MEDM		B		1MJ6 1MJ5 1MJ2			D. S/MEDS D. L/MEDL D. M/MEDM		
机座号 \ 极数	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	6	2	4	6
315L	95.6	95			0.91	0.88	0.9	0.87			80	70	64	85	83	
355S					0.91	0.88					82	75	71			
355M					0.91	0.89					82	75	71			
355L	95 95.3	95.4 95.6			0.93	0.90	0.88 0.88	0.88 0.88			82	75	71	87	84	83
400S					0.92	0.9 0.9					84	78	75			
400M		95.8 96			0.92	0.9					84	78	75			
400L	94.7 94.9	96.2					0.88 0.88	0.88						87	85	88
450S						0.9						82	80			
450M						0.91						82	80			
450L																

附录 10（b） 主要国家防爆电动机的型谱及主要技术数据（增安型、低压，T3）

技术指标	功率/kW								质量/kg								效率/%	
生产厂家	德国西门子		德国 LOHER		瑞士 ABB		奥地利 ELIN		德国西门子		德国 LOHER		瑞士 ABB		奥地利 ELIN		德国西门子	
系列	1MA5 1MA6		ENCU		MT HXA MBT HXR		LKE LKY MKE		1MA5 1MA6		ENCU		MT HXA MBT HXR		LKE LKY MKE		1MA5 1MA6	
机座号 \ 极数	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
63	0.18	0.12	0.18	0.12	0.25	0.18	—	—	3.9	3.9	4	4	4.5	4.5			62	57
63	0.25	0.18	0.25	0.18	—	—	—	—	4.5	4.5	4.6	4.6					65	62
71	0.37	0.25	0.37	0.25	0.37	0.25	0.37	0.25	5.4	5.2	5.7	5.7	5.5	5.5	5.5	6	65	64
71	0.55	0.37	0.55	0.37	0.55	0.37	0.55	0.37	7	6.4	6.6	6.6	6.5	6.5	6.3	7.4	72	67
80	0.75	0.55	0.75	0.55	0.75	0.55	0.75	0.55	8.6	8.4	9.2	9.2	9	9	9.5	10	74	75
80	1.1	0.75	1.1	0.75	1.1	0.75	1.1	0.75	10.3	9.8	10.4	10.4	10	10	11	11	78	75
90S	1.3	1	1.3	1	1.3	1.1	1.3	1	13.3	12.7	14	14	13	13	15.8	15.5	80	76
90L	1.85	1.35	1.85	1.35	2.1	1.5	1.85	1.35	16.1	16	18	18	16	16	18.5	18.3	81	78
100L	2.5	2 2.5	2.5	2 2.5	2.5	2 2.5	2.5	2 2.5	21	22 24	23	23 25	21	20.5 23.5	24	19.5 23	84	79 81
112S	—	—	3.3	—	—	—	—	—			38							

续表

技术指标	功率/kW								质量/kg								效率/%	
生产厂家	德国西门子		德国 LOHER		瑞士 ABB		奥地利 ELIN		德国西门子		德国 LOHER		瑞士 ABB		奥地利 ELIN		德国西门子	
系列	1MA5 1MA6		ENCU		MT HXA MBT HXR		LKE LKY MKE		1MA5 1MA6		ENCU		MT HXA MBT HXR		LKE LKY MKE		1MA5 1MA6	
机座号 / 极数	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
112M	3.3	3.6	—	3.6	3.7	3.7	3.3	3.6	25	29		38	30	31	29	29	84	84
132S	4.6 5.5	5	4.6 5.5	5	5.2	5.2	4.6 5.5	5	43 50	39	53 56	59	42	40	42 46	44	84 86	86
132M	—	6.8	—	6.8	—	6.8	—	6.8		53		69		50		66		87
160M	7.5 10	10	7.5 10	10	7.5 10	10 7.5	7.5 10	10	71 82	73	104 106	108	76 85	72 76	75 85	80	87 89	88
160L	12.5	13.5	12.5	13.5	13 16	13 11	12.5	13.5	99	90	130	130	95 101	87 91	140	130	90	89
180M	15	15	15	15	15 18.5	18.5 15	15	15	165	165	162	162	119 120	130 119	165	150	91.5	91.3
180L	—	17.5	—	17.5	—	22 18.5	—	17.5		180		176		145 135		160		91.7

续表

技术指标	功率/kW								质量/kg								效率/%	
生产厂家	德国西门子		德国 LOHER		瑞士 ABB		奥地利 ELIN		德国西门子		德国 LOHER		瑞士 ABB		奥地利 ELIN		德国西门子	
系列	1MA5 1MA6		ENCU		MT HXA MBT HXR		LKE LKY MKE		1MA5 1MA6		ENCU		MT HXA MBT HXR		LKE LKY MKE		1MA5 1MA6	
机座号 \ 极数	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
200M	—	—	—	—	22 28	26 30	—	—					215 245	225 250				
200L	20 24	24	20 24	24	25 29	28	20 24	24	230 250	240	252 262	254	170 195	190	210 230	245	91.5 92.5	92.2
225S	—	30	—	30	30 36	32 38 43	—	30		300		305	310 340	35 310 340		275		93.3
225M	28	36	28	36	38	36	28	36	310	330	305	335	245	270	300	315	92.8	93.8
250M	36	44	36	44	42 45	42 60	36	44	415	435	410	425	280 450	315 450			93	94
280S	47	58	47	58	55	70	47	58	570	610	555	575	580	575			93.5	94.6
280M	—	70	58	70	75	80	58	70	610	660	590	650	660	660			94.1	94.8
315S	68	84	68	84	88	100	68	84	790	830	735	795	930	930			93.5	94.8

续表

技术指标	功率/kW								质量/kg								效率/%	
生产厂家	德国西门子		德国 LOHER		瑞士 ABB		奥地利 ELIN		德国西门子		德国 LOHER		瑞士 ABB		奥地利 ELIN		德国西门子	
系列	1MA5 1MA6		ENCU		MT HXA MBT HXR		LKE LKY MKE		1MA5 1MA6		ENCU		MT HXA MBT HXR		LKE LKY MKE		1MA5 1MA6	
机座号 \ 极数	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
315M	80	100	80 100 120	100 120	94	115	80	100	850	910	835 835 905	890 960	1030	1030			94.2	95.3
315L	100 125	115 135	140	140	120	130	100 125	115 135	990 1100	1060 1200	1085	1165	1170	1170			99.8 95.3	95.6 95.8
355S	—	—	—	—	150	150	—	—					1550	1550				
355M	—	—	160	160	175	185	150 180	170 215			1570	1650	1750	1800				
355L	150 190	170 215	200	200	200	220	150 180	170 215	1470 1650	1590 1790	1820	1885	2150	2100				96.1 96.4
400M	—	—	240 280	240 280	200	220	220 240	245 275			2060 2200	2100 2260		2150				
400L	220 240	245 275	—	—	—	—	220 240	245 275	2000 2120	2120 2260								96.4 96.5
450																		

续表

技术指标	效率/%				t_E/s						噪声(升压级)/dB(A)					
生产厂家	瑞士 ABB		奥地利 ELIN		德国西门子		瑞士 ABB		奥地利 ELIN		德国西门子			瑞士 ABB		
系列	MT HXA MBT HXR		LKE LKY MKE		1MA5 1MA6		MT HXA MBT HXR		LKE LKY MKE		1MA5 1MA6			MT HXA MBT HXR		
机座号 \ 极数	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	6	2	4	6
63	64	56			25	40	19	51			51	43	41	53	41	
63						30					51	43	41	53	41	
71	67	59	72	68	25	40	16	18	22	30	54	44	42	59	45	42
71	72	64	74	71	15	25	14	14	16	23	54	44	42	59	45	42
80	74	68	77	73	12	18	10	11	15	23	58	49	42	60	49	47
80	77	72	79	76	9	16	7	9	9	18	58	49	42	60	49	47
90S	79	75	81	78.5	11	12	10	14	13	21	63	51	45	65	54	51
90L	81	79	82	79.5	10	12	7	14	9	17	63	51	45	65	54	51
100L	83	79 81	83	79	7	12 10	8	10 8	6	10 8	65	54	50	69	58	55
112S											66	55	55	64	58	55

续表

技术指标	效率/%				t_E/s						噪声(升压级)/dB(A)					
生产厂家	瑞士 ABB		奥地利 ELIN		德国西门子		瑞士 ABB		奥地利 ELIN		德国西门子			瑞士 ABB		
系列	MT HXA MBT HXR		LKE LKY MKE		1MA5 1MA6		MT HXA MBT HXR		LKE LKY MKE		1MA5 1MA6			MT HXA MBT HXR		
机座号 \ 极数	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	6	2	4	6
112M	85	84.5	78	81.5	9	9	5.5	9.5	6	6	66	55	55	64	58	55
132S	85	85.5	85.5 87.5	86.5	11 12	9	5	9.5	6	8	70	61	60	69	60	61
132M		87		87		9		6.5		8	70	61	60	69	60	61
160M	87～ 89	88 85	89.5 90	89	12 10	9	6～9	8 10	8 7	8	72	65	63	72	62 64	60 65
160L	90 91	90 87	91	90	11	7	5 6	9 6			72	65	63	72	62 64	60 65
180M	91 91	91 90	92	91	17	17	5 6	5.5 7			72	62	58	73 70	64	60
180L		91.5 90		91.5		17		7 5			72	62	58	73 70	64	60

续表

技术指标	效率/%				t_E/s						噪声(升压级)/dB(A)					
生产厂家	瑞士 ABB		奥地利 ELIN		德国西门子		瑞士 ABB		奥地利 ELIN		德国西门子			瑞士 ABB		
系列	MT HXA MBT HXR		LKE LKY MKE		1MA5 1MA6		MT HXA MBT HXR		LKE LKY MKE		1MA5 1MA6			MT HXA MBT HXR		
机座号 \ 极数	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	6	2	4	6
200M	91～ 92.5	92.5 93					7 5	5 5			73	63	58	72 75	63 65	64 62
200L	92 92.5	92	91 92.5	92	17 16	12	6 5	7 9			73	63	58	72 75	63 65	64 62
225S	93.5	92.5～ 93.5		92.5		18	6 5	5 5			74	65	61	74 75	67 66	62
225M	93.5	93	93.5	93	14	16	5.5	9			74	65	61	74 75	67 66	62
250M	93 94	93 94.5	92	92.4	15	16	5 6	6 5	17	20	76	66	61	74 75	67 68	62 64
280S	93.5	95	93.2	94.2	23	8	5	6	18	18	78	68	61	80	70	66
280M	93.5 94.5	95	93.7	94.3	20	8	6	6	11	12	78	68	61	80	70	66

续表

技术指标	效率/%				t_E/s						噪声(升压级)/dB(A)					
生产厂家	瑞士 ABB		奥地利 ELIN		德国西门子		瑞士 ABB		奥地利 ELIN		德国西门子			瑞士 ABB		
系列	MT HXA MBT HXR		LKE LKY MKE		1MA5 1MA6		MT HXA MBT HXR		LKE LKY MKE		1MA5 1MA6			MT HXA MBT HXR		
机座号 \ 极数	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	6	2	4	6
315S	94.3	94.5	93.5	94	25	11	11	7	11	25	80	70	64	80	73	72
315M	94.4	94.9	94.2	95.5	20	8	7	7	17	10	80	70	64	80	73	72
315L	95.4	95	94.5 95	95.4 95.6	18 13	14 10	7	7	10	20 10	80	70	64	80	73	72
355S	94.8	95.6					6	6			82	75	71	83	83	75
355M	95	95.8	95.2 95.4	95.7 96.3			6	6	9 8	8 15	82	75	71	83	83	75
355L	95.5	96	95.2 95.4	95.7 96.3	25 14	10 12	6	6	9 8	8 5	82	75	71	83	83	75
400M	95.5	96	95.6	96.4 96.5			6	6	8	12 11	84	78	75	83	83	75
400L			95.7	96.4 96.5	9 13	22 13			8	12 11	84	78	75	83	83	75
450											79	82	80			

附录 10（c） 主要国家防爆电动机的型谱及主要技术数据（6kV、F 级、隔爆型）

技术指标	功率/kW								质量/kg							
生产厂家	德国 LOHER		俄罗斯		法国 日蒙·施奈特		比利时 ACEC		德国 LOHER		俄罗斯		法国 日蒙·施奈特		比利时 ACEC	
系列	DHS		BAO2		FAC TAC		AKG2 ATG2		DHS		BAO2		FAC TAC		AKG2 ATG2	
机座号 \ 极数	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
355	—	—	—	—	—	—	150	—							1420	
	—	—	—	—	180	160	185	150					1730	1770	1530	1670
	160	160	—	—	200	200	220	185	1600	1600			1790	1880	1620	1820
	—	—	—	—	220	220	250	220					1910	1970	1710	1930
	200	200	—	—	290	270	280	250	1800	1800			2070	2110	1770	2050
400	—	—	—	—	—	—	315	300							2400	2580
	—	—	—	—	—	—	375	335							2530	2700
	250	250	—	—	400	355	425	375	2400	2600			2630	2580	2640	2830
	—	—	—	—	—	—	475	400							2700	2930
	315	315	—	—	450	450	500	425	2700	2900			2870	2870	2760	2980

续表

技术指标	功率/kW								质量/kg							
生产厂家	德国 LOHER		俄罗斯		法国 日蒙·施奈特		比利时 ACEC		德国 LOHER		俄罗斯		法国 日蒙·施奈特		比利时 ACEC	
系列	DHS		BAO2		FAC TAC		AKG2 ATG2		DHS		BAO2		FAC TAC		AKG2 ATG2	
机座号 / 极数	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
450	—	—	200	200	—	—	—	—			1620	1900				
	355	355	250	250	—	—	—	—	3200	3200	1850	2050				
	400	400	—	—	—	—	—	—	3400	3300						
	450	450	315	315	560	560	—	—	3600	3500	2060	2500	3660	3460		
	500	500	400	400	—	630	—	—	3800	3700	2480	2750		3760		
500	—	—	—	—	—	—	560	500							3300	3300
	560	560	—	—	—	—	670	600	4400	4600					3450	3500
	—	—	—	—	—	—	—	—								
	630	630	—	—	—	—	800	710	4600	4800					3600	3800
560	—	—	—	500	550	420	950	950				3000	4725	4100	4400	4700
	710	710	—	630		480	1120	1120	6200	6500		3400		4200	4750	5050
	—	—	—	800	625	560	—	—				4000	5100	4500		
	800	800	—	1000			1290	1260	6800	6800		4900			5100	5400

续表

技术指标	功率/kW								质量/kg							
生产厂家	德国 LOHER		俄罗斯		法国 日蒙·施奈特		比利时 ACEC		德国 LOHER		俄罗斯		法国 日蒙·施奈特		比利时 ACEC	
系列	DHS		BAO2		FAC TAC		AKG2 ATG2		DHS		BAO2		FAC TAC		AKG2 ATG2	
机座号 \ 极数	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
630	—	—	—	1250	750	680	1425	1450				6200	5500	4750	6050	6200
	—	—	—	1600	850	790	1700	1670				7100	6000	5200	6450	6600
	—	—	—	2000	950	900	1930	1850				8000	6300	5500	6850	7050
710					950								6800			
					1150	1000							7300	6550		
					1300								8000			
					1450	1150							8600	7100		
					1650	1300							9200	7800		
800					1900	1500							11600	9800		
					2200	1700							12500	10400		
					2500	2000							13600	11000		

续表

技术指标	效率/%						cosφ						噪声(升压级)/dB(A)			
生产厂家	德国 LOHER		俄罗斯		法国 日蒙·施奈特		德国 LOHER		俄罗斯		法国 日蒙·施奈特		法国 日蒙·施奈特			
系列	DHS		BAO2		FAC TAC		DHS		BAO2		FAC TAC		FAC、TAC			
机座号 \ 极数	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	6	8
355																
				91.5	91.5						0.91	0.89	91	86		
	94.4	94.1			92	92	0.92	0.87			0.91	0.89	91	86	83	
					92.8	93.5					0.91	0.89	91	86	83	
	94.8	94.5			94	93.5	0.93	0.87			0.90	0.89	91	86	83	77
400																
	95.2	95			94	94.5	0.92	0.86			0.90	0.87	90	86	84	82
	95.6	95.2			94.5	94.8	0.93	0.86			0.90	0.87	90	86	84	82

续表

技术指标	效率/%						cosφ						噪声(升压级)/dB(A)			
生产厂家	德国 LOHER		俄罗斯		法国 日蒙·施奈特		德国 LOHER		俄罗斯		法国 日蒙·施奈特		法国 日蒙·施奈特			
系列	DHS		BAO2		FAC TAC		DHS		BAO2		FAC TAC		FAC、TAC			
机座号 \ 极数	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	6	8
450			94.1	93.5					0.89	0.88						
	95.9	95.1	94.3	94.0			0.92	0.89	0.90	0.88						
	96	95.2					0.92	0.90								
	96.2	95.4	94.4	94.5	95	95.5	0.93	0.90	0.91	0.89	0.90	0.87	91	86	84	82
	96.3	95.5	94.4	94.9		96	0.93	0.90	0.91	0.89		0.90		86	84	82
500																
	96.2	95.7					0.93	0.91								
	96.3	95.8					0.93	0.92								
560				94.5	94.4	94				0.90	0.92	0.89	86			
	96.2	95.9		95.0		94.5	0.93	0.92		0.90		0.89				
				95.3	94.8	94.7				0.90	0.93	0.90	86			
	96.3	96		95.6			0.93	0.91		0.90						

续表

技术指标	效率/%						cosφ						噪声(升压级)/dB(A)			
生产厂家	德国 LOHER		俄罗斯		法国 日蒙·施奈特		德国 LOHER		俄罗斯		法国 日蒙·施奈特		法国 日蒙·施奈特			
系列	DHS		BAO2		FAC TAC		DHS		BAO2		FAC TAC		FAC、TAC			
极数 / 机座号	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	6	8
630				95.5	94.8	95				0.91	0.90	0.90	87			
				95.9	95	94.7				0.91	0.90	0.90	87			
				96.2	95	94.9				0.91	0.90	0.90	87			
710					95						0.90		89			
					95	95					0.90	0.90	89			
					95						0.90		89			
					95	95.4					0.90	0.91	91			
					95	95.5					0.90	0.91	91			
800					95.1	94.8					0.92	0.91	95			
					95.2	95					0.92	0.91	95			
					95.3	95.2					0.92	0.91	95			

注：——（粗线）以上的冷却方式为IC0141；以下为IC0151。

附录 10 (d) 主要国家防爆电动机的型谱及主要技术数据（高压、F 级、增安型、T3）

生产厂家	德国西门子(Siemens)																									
系列	1MA1,6kV																									
参数	功率/kW						功率/kW		质量/kg		效率/%		$\cos\varphi$		T_{st}/T_N		I_{st}/I_N		T_m/T_N		t_B/s		J_m/(kg·m^2)		噪声(升压级)/dB(A)	
机座号 \ 极数	2	4	6	8	10	12	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
280	45	45	—	—	—	—																				
	55	55	37	—	—	—																				
315	75	75	55	45	—	—																				
	90	90	65	55	—	—																				
355	—	—	—	—	—	—	160	175	1500	1500	94.1	94.6	0.89	0.86	0.80	0.75	5.2	5.2	2.1	2.1	10	13	2.1	2.9	77	75
	110	110	75	65	—	—	200	235	1600	1700	94.7	95.3	0.89	0.85	0.80	0.80	5.2	5.4	2.1	2.2	10	11	2.5	3.8	77	75
	132	132	90	75	—	—	230	290	1700	1900	95.1	95.5	0.89	0.85	0.80	0.80	5.3	5.4	2.1	2.2	9	11	3.0	4.9	77	75
400	—	—	—	—	—	—	265	315	2200	2300	94.7	95.7	0.90	0.86	0.85	0.75	5.3	5.2	2.1	2.1	9	10	4.2	5.8	79	77
	160	160	132	110	65	55	305	365	2300	2400	95.0	95.9	0.90	0.86	0.85	0.75	5.3	5.2	2.1	2.1	9	10	4.7	6.7	79	77
	200	200	160	132	75	65	355	440	2400	2600	95.4	96.1	0.89	0.86	0.85	0.75	5.2	5.4	2.0	2.1	9	9	5.3	7.8	79	77

续表

生产厂家	德国西门子(Siemens)																									
系列	1MA1,6kV																									
参数	功率/kW						功率/kW		质量/kg		效率/%		cosφ		T_{st}/T_N		I_{st}/I_N		T_m/T_N		t_B/s		J_m/(kg·m²)		噪声(升压级)/dB(A)	
机座号 \ 极数	2	4	6	8	10	12	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
450	—	—	—	—	—	—	425	490	3200	3300	95.6	96.1	0.92	0.86	0.65	0.70	5.3	5.1	2.2	2.1	11	9	11.0	11.8	81	79
450	250	250	200	160	110	90	500	540	3400	3500	96.0	96.3	0.92	0.86	0.65	0.70	5.5	5.2	2.2	2.1	11	9	12.4	13.1	81	79
450	300	300	250	200	132	110	570	610	3600	3700	96.3	96.5	0.92	0.86	0.65	0.70	5.4	5.2	2.2	2.1	10	9	13.6	14.6	81	79
500							650	690	4500	4900	96.0	96.6	0.92	0.86	0.60	0.65	5.3	5.1	2.2	2.0	10	8	17.5	21.5	83	81
500							750	780	4700	5200	96.3	96.7	0.92	0.86	0.60	0.65	5.4	5.0	2.2	2.0	10	8	20.0	24.5	83	81
500							850	870	5100	5500	96.50	96.9	0.92	0.86	0.60	0.70	5.4	5.2	2.2	2.0	10	8	22.5	27.5	83	81
560							—	1000		6800		96.7		0.89		0.55		5.3		2.2		9		54		83
560							—	1100		7000		96.8		0.89		0.55		5.2		2.1		9		59		83
560							—	1220		7300		97.0		0.89		0.55		5.3		2.1		9		64		83
560							—	1350		7800		97.2		0.89		0.55		5.4		2.2		9		72		83

参 考 文 献

[1] 赵家礼. 电动机修理手册. 第 3 版. 北京：机械工业出版社，2003.

[2] 杨万青，刘建忠. 实用异步电动机设计. 安装与维修. 北京：机械工业出版社，1996.

[3] N. T. 舒波夫. 电机的噪声和振动. 沈官秋主译. 北京：机械工业出版社，1980.

[4] 陈永校等. 电机噪声的分析和控制. 杭州：浙江大学出版社，1987.

[5] 程福秀，林金铭. 现代电机设计. 北京：机械工业出版社，1992.

[6] 陈业绍. 电机噪声、振动测试技术讲义. 上海电器科学研究所，1983.

[7] S. J. Yang. Low-noise electrical motors. Oxford University Press，1981.

[8] 李隆年等. 电机设计. 北京：清华大学出版社，1992.

[9] 沈阳机电学院电机系编. 三相异步电动机原理、设计与试验. 北京：科学出版社，1977.

[10] 西门子公司纽伦堡电机厂技术报告. Gesetsmäβigkeit der Wärmeabgabe Oberflächengekühlter Drehströmkurzschluβaüfenmotoren，Nr. 317，1967. 10. 23.

[11] 西安交通大学. 电机设计. 北京：中国工业出版社，1961.

[12] A. E. 阿列克谢耶夫. 电机结构. 清华大学电机系译. 北京：机械工业出版社，1957.

[13] 第一机械工业部. 动力机器基础设计规范. 北京：中国建筑工业出版社，1980.

[14] 才家刚主编. 电机试验手册. 北京：中国电力出版社，1998.

FANGBAO FANGFU
DIANJI JIANXIU JISHU
WENDA

防爆防腐 电机检修技术问答



- 本书阐述了防爆、防腐电机在检修中涉及到的电气、机械上的问题，并提出了解决方法。
- 本书对防爆、防腐电机的选型、安装、维护及检修后的试验也作了详细介绍。
- 为方便读者查阅，书末附有防爆、防腐电机几代产品的技术数据表。
- 本书可供电机维修人员阅读，也可供防爆、防腐电机生产厂家和使用单位参考。
- 本书作者是原佳木斯防爆电机研究所总工，书中内容是他多年工作经验的总结。



销售分类建议：电气

ISBN 978-7-122-02363-6



定价：23.00元